



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Agronomía

Efecto de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con diferentes densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones controladas, en el sector La Argelia del cantón Loja.

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del título de
Ingeniera Agrónoma

AUTOR:

Silvana Estefani Castro Calderón

DIRECTORA:

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

Loja_ Ecuador

2024

Certificación

Loja, 14 de agosto de 2023

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **“Efecto de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con diferentes densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones controladas, en el sector La Argelia, Loja”**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Agrónoma**, de la autoría de la estudiante **Silvana Estefani Castro Calderón**, con **cédula de identidad Nro.1004739395**. Una vez que el trabajo cumpla con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, se autoriza la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Silvana Estefani Castro Calderón**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular o de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 10047393985

Fecha: 28 de febrero de 2024

Correo electrónico: silvana.e.castro@unl.edu.ec

Teléfono: 0959200990

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, Silvana Estefani Castro calderón, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Efecto de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con diferentes densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones controladas, en el sector La Argelia del cantón Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintiocho días del mes de febrero de dos mil veinticuatro.

Firma: 

Autora: Silvana Estefani Castro Calderón

Cédula:1004739395

Dirección: Loja- San pedro de Vilcabamba

Correo electrónico: silvana.e.castro@unl.edu.ec

Teléfono: 0959200990

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Directora del Trabajo de Integración Curricular:

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

Dedicatoria

Dedico mi trabajo, primeramente, a Dios y a la Virgen María por bendecirme, y guiarme en mis estudios, por ser mi luz en mi camino y brindarme la salud, sabiduría, fuerzas suficientes para cumplir mis objetivos.

A mi papá Freddy Castro Tabango, por todo su sacrificio, por estar siempre dispuesto ayudarme, a pesar de las adversidades que se le ha presentado en su vida.

A mis abuelos José Francisco Garzón y Clara Luz Calderón, que con sus conocimientos y la sabiduría sobre Dios me han enseñado y guiado a ser quien soy hoy en día, gracias por sus consejos, su amor.

A mi tía Alicia Garzón, ha estado ahí siempre apoyándome de una u otra forma, sus consejos y sus lecciones de vida he aprendido de ellos.

Silvana Estefani Castro Calderón

Agradecimientos

Agradezco a Dios y a la Virgen María por protegerme y permitirme superar los obstáculos y seguir en adelante, a mi papá por apoyarme en todo momento, por brindarme la oportunidad de culminar mis estudios y ser el pilar fundamental para alcanzar mis peldaños.

Mi agradecimiento sincero a mi directora de tesis Marlene Molina por la confianza, el aprecio, sus indicaciones, orientaciones y todo el conocimiento que me ha impartido de su parte, al igual al Dr. Santiago Vásquez, por dedicarme su tiempo en el transcurso de esta investigación.

A la Universidad Nacional de Loja por abrirme sus puertas, gracias a cada uno de los docentes quienes con su apoyo y enseñanza constituyen la base de mi aprendizaje, en especial Dra. Marina Mazón PhD, por la revisión que ha realizado en mi trabajo y sus valiosas sugerencias en momentos de duda. Además, expreso mi agradecimiento a la Ing. Beatriz Guerrero, Técnica del laboratorio de Bromatología, al igual que la Ing. Lucia Quichimbo, Técnica del laboratorio de Fisiología Vegetal, por su colaboración y magnífico trato en todo momento, en la fase de laboratorio del desarrollo de esta investigación.

A todas aquellas personas que de una u otra forma me apoyaron para lograr este objetivo, a mis amigas Leidy Cueva, María José Mora, Alexandra Murquincho, Katty Loja, Karla Gordillo, Johana Mora, que me han brindado su apoyo, compañerismo en el transcurso de estos años de estudio.

Silvana Estefani Castro Calderón

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	ii
Carta de autorización	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Índice de contenidos	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivos específicos	6
4. Marco teórico	7
4.1. El cultivo de quinua	7
4.1.1. Origen.....	7
4.1.2. Importancia alimenticia del cultivo de quinua	7
4.1.3. Producción mundial y nacional	7
4.1.4. Clasificación Taxonomía.....	8
4.1.5. Características Morfológicas del cultivo de la quinua	8
4.1.6. Fenología.....	10
4.2. Densidades de siembra de la quinua.....	12
4.3. Métodos de siembra.....	13
4.3.1. Siembra directa.....	13
4.3.2. Siembra mecanizada.....	14
4.3.3. Trasplante	14
4.4. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de la quinua	14
4.4.1. Suelo.....	14
4.4.2. pH.....	15

4.4.3.	Temperatura	15
4.4.4.	Agua	15
4.4.5.	Radiación.....	15
4.4.6.	Fotoperíodo	15
4.5.	Estudios sobre los efectos de los sistemas de siembra y densidades de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua.....	15
5.	Metodología	17
4.6.	Ubicación del estudio	17
4.7.	Metodología general	17
4.7.1.	Tipo de investigación	17
4.7.2.	Diseño experimental.....	18
4.7.3.	Modelo matemático.....	19
4.7.4.	Preparación del terreno.....	21
4.7.5.	Siembra.....	21
4.7.6.	Fertilización.....	21
4.7.7.	Riego	21
4.7.8.	Control de malezas	21
4.7.9.	Raleo.....	22
4.7.10.	Medición de datos climáticos (temperatura y humedad relativa)	22
4.7.11.	Control de enfermedades en el cultivo de quinua.....	22
4.8.	Metodología para el objetivo 1	22
4.9.	Metodología para el objetivo 2.....	23
6.	Resultados.....	26
4.10.	Condiciones climáticas y fenología del cultivo de quinua.....	26
4.11.	Altura de planta.....	28
4.12.	Diámetro del tallo	29
4.13.	Biomasa en inicio de floración	29
4.14.	Índice de área foliar	30
4.15.	Longitud de la panoja.....	32
4.16.	Peso de la panoja.....	33
4.17.	Biomasa en cosecha	34
4.18.	Número de granos por planta.....	35
4.19.	Número de granos por m ⁻²	36
4.20.	Peso de 1000 granos.....	37

4.21.	Rendimiento	37
4.22.	Índice de cosecha	38
4.23.	Análisis de correlación de las variables	39
7.	Discusión	41
8.	Conclusiones	47
9.	Recomendaciones	48
10.	Bibliografía	49
11.	Anexos	60

Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de quinua.	8
Tabla 2. Características de la estructura del diseño sobre los métodos de siembra y densidad de siembra en el cultivo de quinua bajo condiciones controladas en el sector La Argelia.	18
Tabla 3. Tratamientos implementados en el ensayo sobre los métodos de siembra y densidades de siembra en el cultivo de quinua en el sector La Argelia, Loja.	19
Tabla 4. Etapas del crecimiento fenológico basadas en la escala BBCH para el cultivo de quinua.	24
Tabla 5. Biomasa en inicio de floración (g m^{-2}) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.	30
Tabla 6. Longitud de la panoja (cm), en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.	32
Tabla 7. Peso de la panoja principal (g), en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.	33
Tabla 8. Biomasa en cosecha (g m^{-2}) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.	34
Tabla 9. Número de granos (planta^{-1}) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.	35
Tabla 10. Número de granos (m^{-2}) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.	36
Tabla 11. Rendimiento (t ha^{-1}) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.	37
Tabla 12. Índice de cosecha en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.	38
Tabla 13. Correlación de Pearson de las variables cuantitativas evaluadas en el cultivo de quinua.	40

Índice de figuras

- Figura 1.** Mapa de ubicación del lugar de estudio, Quinta experimental Docente “La Argelia” 17
- Figura 2.** Disposición del ensayo en campo, con métodos de siembra a chorro continuo y trasplante y las diferentes densidades de siembra, en el cultivo de quinua variedad Tunkahuan. 20
- Figura 3.** Comportamiento de la humedad relativa (a) y temperatura (b) durante la temporada de crecimiento y desarrollo de la quinua; HR: humedad relativa; DDS: días después de la siembra; triángulos azules con códigos en la parte inferior representa la fenología del método de siembra a chorro continuo y triángulos de color tomate con los códigos en la parte superior indican la fenología del método de siembra trasplante. Códigos BBCH: 9 (germinación); 11 (primer par de hojas verdaderas); 20 (Desarrollo de hojas); 29 (formación de tallos laterales); 50 (emergencia de la inflorescencia); 60 (Floración); 70 (desarrollo del fruto); 81 (grano lechoso); 85 (grano pastoso); 97 (senescencia). 26
- Figura 4.** Fenología del cultivo de quinua del factor método de siembra a chorro continuo y trasplante, en función de los días después de la siembra (DDS). Las barras de colores y triángulos de color azul y tomate muestran la fenología según la escala BBCH desde la emergencia hasta la senescencia. Códigos BBCH: 9 (germinación); 11 (primer par de hojas verdaderas); 20 (Desarrollo de hojas); 29 (formación de tallos laterales); 50 (emergencia de la inflorescencia); 60 (Floración); 70 (desarrollo del fruto); 81 (grano lechoso); 85 (grano pastoso); 97 (senescencia). 27
- Figura 5.** Curva de crecimiento de la altura de la planta (cm) obtenida en cada uno de los tratamientos del cultivo de quinua desde el día 32 hasta el día 130. A chr: a chorro continuo; Trasp: trasplante. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**). 28
- Figura 6.** Efecto del factor método de siembra en la altura de planta del cultivo de quinua. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). 28
- Figura 7.** Curva de crecimiento del diámetro del tallo obtenida desde el día 32 hasta el día 130 en cada uno de los tratamientos del cultivo de quinua. A chr: a chorro continuo; Trasp: trasplante. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**) 29

Figura 8. Efecto del factor densidad de siembra en la biomasa en inicio de floración (g m^{-2}) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	30
Figura 9. Curva de crecimiento del índice de área foliar obtenida desde el día 32 hasta el día 130 en función de los tratamientos del cultivo de quinua. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**).	31
Figura 10. Efecto del factor método de siembra en el índice de área foliar del cultivo de quinua. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**).	31
Figura 11. Efecto del factor densidad de siembra en el índice de área foliar del cultivo de quinua. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**).	31
Figura 12. Efecto del factor densidad de siembra en la longitud de la panoja principal (cm) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	32
Figura 13. Efecto del factor densidad de siembra en el peso de la panoja principal (cm) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	33
Figura 14. Efecto del factor densidad de siembra en la biomasa en cosecha (g m^{-2}) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	34
Figura 15. Efecto del factor densidad de siembra en el número de granos (planta^{-1}) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	35
Figura 16. Efecto del factor densidad de siembra en el número de granos (m^{-2}) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	36
Figura 17. Efecto del factor densidad de siembra en el peso de 1000 granos (g), del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	37
Figura 18. Efecto del factor densidad de siembra en el rendimiento del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	38

Índice de anexos

Anexo 1. Resumen de las dosis de fertilizantes aplicados en el área de estudio	60
Anexo 2. Descripción de las fases fenológicas de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) de acuerdo a la escala extendida de la BBCH descrita por Sosa et al. (2017).	60
Anexo 3. Efecto del factor método de siembra sobre el crecimiento de la altura de la planta del cultivo de quinua	62
Anexo 4. Crecimiento del diámetro del tallo del cultivo de quinua, bajo la aplicación de los diferentes tratamientos sobre los métodos y densidades de siembra.	63
Anexo 5. Efecto del factor densidad de siembra en el diámetro del tallo del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).	64
Anexo 6. Efecto del factor método de siembra en el diámetro del tallo del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).	64
Anexo 7. Siembra del cultivo de quinua, del método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b).....	65
Anexo 8. Emergencia de la quinua método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b)	65
Anexo 9. Dos hojas verdaderas, método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b) ...	66
Anexo 10. Cuatro hojas verdaderas, método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b)	66
Anexo 11. Seis hojas verdaderas, método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b) .	67
Anexo 12. Ramificación, método de siembra trasplante y a chorro continuo.	67
Anexo 13. Inicio de panojamiento, método de siembra trasplante y a chorro continuo	68
Anexo 14. Panojamiento, método de siembra trasplante y a chorro continuo.....	68
Anexo 15. Inicio de la floración, método de siembra trasplante y a chorro continuo	68
Anexo 16. Floración, método de siembra trasplante y a chorro continuo	69
Anexo 17. Formación del grano, método de siembra trasplante y a chorro continuo	69
Anexo 18. Grano lechoso, método de siembra trasplante y a chorro continuo.....	69
Anexo 19. Grano pastoso, método de siembra trasplante y a chorro continuo.....	70
Anexo 20. Senescencia del cultivo de quinua, método de siembra trasplante y a chorro continuo	70
Anexo 21. Limpieza de las arvenses y aporque	71
Anexo 22. Fertilización al cultivo de quinua en cada uno de los tratamientos.....	71

Anexo 23. Medición del diámetro del tallo.....	71
Anexo 24. Medición del índice de área foliar a cada uno de los tratamientos con la cámara GoPro Hero9.....	72
Anexo 25. Picado y pesaje de la biomasa aérea en el laboratorio	72
Anexo 26. Evaluación de la fenología de la quinua.....	73
Anexo 27. Cosecha de la quinua.....	73
Anexo 28. Medición de la longitud de la panoja	73
Anexo 29. Colocación de las muestras en fundas de papel	74
Anexo 30. Secado de las muestras de quinua en estufa	74
Anexo 31. Eliminación de las impurezas del grano de quinua	74
Anexo 32. Muestras de quinua por planta de cada uno de los tratamientos	75
Anexo 33. Pesaje del grano por planta en una balanza digital (a) y peso de 1000 granos en una balanza analítica (b).....	75
Anexo 34. Certificado de traducción del resumen	76

1. Título

Efecto de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con diferentes densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones controladas, en el sector La Argelia del cantón Loja.

2. Resumen

La quinua es un cultivo andino considerado importante por su valor nutricional y agronómico, así como también por su capacidad de adaptación al cambio climático y a diversos ambientes. En los últimos años la quinua ha sido muy demandada por el mercado internacional, promoviendo su cultivo en nuevas zonas de producción. En Ecuador las provincias productoras de este cultivo son Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Carchi, Tungurahua, las cuales en el año 2021 generaron un rendimiento a nivel nacional de $0,62 \text{ t ha}^{-1}$ y para el año 2022 con $1,34 \text{ t ha}^{-1}$. Las prácticas agronómicas como el manejo adecuado de los sistemas de siembra y una buena distribución de plantas generan un aumento del rendimiento. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante con diferentes densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua, bajo condiciones controladas, en el sector La Argelia del cantón Loja. Para ello se estudió en un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo bifactorial con 6 tratamientos y tres repeticiones. Las densidades fueron 20, 13 y 8 plantas m^{-2} . En las que se evaluaron las siguientes variables: fenología, temperatura, humedad relativa, altura de la planta, diámetro del tallo, índice de área foliar, biomasa en inicio de floración m^{-2} , longitud de la panoja principal, peso de la panoja principal, biomasa en cosecha m^{-2} , número de granos planta^{-1} , número de granos m^{-2} , peso 1000 granos, rendimiento e índice de cosecha. Respecto a los tratamientos evaluados se encontró efectos significativos en la variable diámetro del tallo, con el tratamiento trasplante * 8 plantas m^{-2} (T6), presentando el mejor promedio de 1,37 cm y el menor diámetro con el tratamiento trasplante * 20 plantas m^{-2} (T4) con 0,94 cm. En cuanto al factor método de siembra mostró efectos en las variables altura, índice de área foliar, siendo mejor en la siembra directa a chorro continuo, además, los métodos de siembra afectaron la fenología, provocando un retraso de 7 días más para alcanzar la madurez fisiológica del método de siembra trasplante, con respecto a chorro continuo. Así mismo el factor densidad de siembra afectó de manera diferenciadas las variables, así se observó que el índice de área foliar, biomasa en inicio de floración m^{-2} , biomasa en cosecha m^{-2} , número de granos m^{-2} y rendimiento t ha^{-1} tuvo mejores respuestas al incremento de la densidad con 20 plantas m^{-2} , mientras que el diámetro del tallo, la longitud y peso de la panoja principal, número de granos planta^{-1} presentaron los mejores resultados con la densidad baja de 8 plantas m^{-2} . Estas respuestas se obtuvieron como resultado del análisis de plantas individuales, indicando que a medida que se disminuye el número de plantas se presenta valores crecientes, probablemente debido a la disminución de la competencia por los recursos disponibles entre plantas.

Palabras claves: quinua, sistema de siembra, densidad, fenología, rendimiento

Abstract

Quinoa is an Andean crop considered important for its nutritional and agronomic value, as well as for its ability to adapt to climate change and diverse environments. In recent years quinoa has been in great demand in the international market, promoting its cultivation in new production areas. In Ecuador, the producing provinces of this crop are Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Carchi, Tungurahua, which in 2021 generated a national yield of 0,62 t ha⁻¹ and by 2022 with 1,34 t ha⁻¹. Agronomic practices such as proper management of planting systems and good plant distribution will increase yields. In this context, the present study aimed to evaluate the effect of continuous jet seeding and transplanting methods with different planting densities on growth and yield parameters in the quinoa crop, under controlled conditions, in La Argelia area of Loja canton. For this purpose, a completely randomized design (CRD) was used, with a bifactorial arrangement with 6 treatments and three replications. The densities were 20, 13 and 8 plants m⁻². The following variables were evaluated: phenology, temperature, relative humidity, plant height, stem diameter, leaf area index, biomass at the beginning of flowering m⁻², main panicle length, main panicle weight, harvest biomass m⁻², number of grains plant⁻¹, number of grains m⁻², weight 1000 grains, yield and harvest index. With respect to the treatments evaluated, significant effects were found in the variable stem diameter, with the transplanting treatment * 8 plants m⁻² (T6), presenting the best average of 1,37 cm and the smallest diameter with the transplanting treatment * 20 plants m⁻² (T4), with 0,94 cm. As for the sowing method factor, it showed effects on the variables height, leaf area index, being better in direct sowing with a continuous jet, in addition, the sowing methods affected phenology, causing a delay of 7 days more to reach physiological maturity in the transplant sowing method, with respect to continuous jet. Thus, it was observed that the leaf area index, biomass at the beginning flowering m⁻², biomass at harvest m⁻², number of grains m⁻² and yield t ha⁻¹ had better responses to the increase in density with 20 plants m⁻², while the stem diameter, length and weight of the main panicle and number of grains plant⁻¹ showed the best results with the low density of 8 plants m⁻². These responses were obtained as a result of the analysis of individual plants, indicating that as the number of plants decreases, increasing values are presented, probably due to the decrease in competition for available resources among plants.

Key words: *quinoa, sowing system, density, phenology, yield*

3. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un grano andino, producida en zonas altas de los países como Bolivia, Perú, Ecuador y en el sur de Colombia (Campos-Rodríguez et al., 2022), hasta el norte de Argentina y el sur de Chile (FAO, 2022a), alcanzando zonas geográficas que van con una altitud entre 0 - 4000 m.s.n.m. Esta especie actualmente se produce en varios países del mundo, gracias a su nivel productivo se ha globalizado como un alimento de alta calidad nutricional (Sáez-Tonacca et al., 2018), ya que contiene una fuente importante de proteínas, así como también una gran cantidad de aminoácidos, lípidos, fibra, vitaminas y minerales (Campos-Rodríguez et al., 2022).

En el año 2013, la quinua tuvo su auge internacional más importante en virtud de la FAO, lo que ha generado un interés por conocer, investigar, producir y consumir este grano andino de grandes propiedades nutricionales y alimenticias (FAO, 2022b). Actualmente, el aumento de la demanda y el consumo del mercado mundial ha llevado a abrir oportunidades de producción y exportación a nuevos países para poder satisfacer las necesidades de los mercados (Oris, 2022).

En cuanto a los principales países exportadores en el año 2020, Perú, ocupa el primer lugar con 50,998 t, seguido de Bolivia con 37,298 t, mientras que Países Bajos y Estados Unidos se encuentran en el tercer y cuarto puesto con 4,452 t y 3,679 t, respectivamente (Oris, 2022).

En nuestro país las provincias productoras son Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Pichincha, Carchi, Tungurahua, las cuales durante el año 2021 sembraron, aproximadamente, cerca de 2 mil hectáreas de quinua (Silva, 2021), obteniendo un rendimiento de 0,62 t ha⁻¹ y para el año 2022 con 1,34 t ha⁻¹ cultivadas por las provincias de Chimborazo y Cotopaxi con una superficie de 837 ha (MAG, 2023). Presentando rendimientos inferiores a los que normalmente esta planta produce, en condiciones óptimas llega a alcanzar desde 7 a 11 t ha⁻¹ (Gómez y Aguilar, 2016).

A nivel nacional, los bajos rendimientos de quinua se debe a varios factores, entre ellos el manejo poco tecnificado del cultivo, generalmente los agricultores cultivan la quinua de manera ancestral con sistemas de siembra a chorro continuo y al voleo, sin emplear una densidad óptima de siembra, lo que genera competencia por los recursos disponibles (agua, luz, nutrientes) (Núñez et al., 2018), además propicia un ambiente ideal para la incidencia de estreses bióticos como presencia de plagas y enfermedades (Mina, 2014) y la competencia con malezas (Gómez y Aguilar, 2016), y estreses abióticos, como la presencia de suelos con poca fertilidad.

También existen otros factores que afectan en la producción que no toman en cuenta los medianos y pequeños productores debido a su difícil control, como el ataque de aves a las plántulas, el desnivel del suelo, los encharcamientos de aguas y las consecuentes pudriciones (Rodas y Flores, 2018). Frente a esto unas de las alternativas es el trasplante, ya que pueden reponer a este tipo de pérdidas, Rodas y Flores (2018) y Ludvigson et al. (2019) determinaron una mayor tasa de supervivencia de las plántulas trasplantadas en campo las cuales generaron un mayor rendimiento a diferencia de la siembra directa.

En la actualidad existen pocos estudios acerca de los métodos de siembra y densidad de siembra óptima para incrementar el rendimiento por unidad de superficie a nivel nacional. En este sentido las investigaciones realizadas por otros países como Perú, Bolivia y Argentina, hasta la fecha han demostrado que la quinua tiene una elevada plasticidad fenotípica (Sánchez-Monje et al., 2019; Sucasaca, 2023), es decir, puede modificar su estructura a la oferta de recursos, como en este caso al número de plantas por unidad de superficie, por lo tanto, difícilmente se podrían extrapolar los resultados determinados en otros genotipos y lugares a las condiciones de Loja; sin embargo, estos estudios no se han realizado bajo condiciones controladas, por esta razón esta investigación en el ámbito del conocimiento científico trata de seleccionar una estrategia idónea de los métodos y densidad de siembra más adecuada, que permita a investigadores y a productores de quinua planificar e implementar este cultivo, orientados a incrementar la productividad por unidad de superficie y a reducir los gastos de los insumos agrícolas, usando eficientemente los recursos disponibles,

Por otro lado, este proyecto a nivel mundial está vinculado con el segundo objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS) denominado “Hambre cero”. También, el presente proyecto se ubica dentro de la línea de investigación institucional de la Universidad Nacional de Loja denominada “Sistemas agropecuarios sostenibles para la soberanía alimentaria”, además, se encuentra vinculado dentro del proyecto de investigación de la carrera de agronomía “Bases fisiológicas del uso de la radiación solar y el nitrógeno en genotipos de quinua ecuatoriana”.

En función de lo anteriormente expuesto, se planteó los siguientes objetivos:

3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con diferentes densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones controladas, en el sector la Argelia, del cantón Loja

3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con tres densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento en el cultivo de quinua.
- Evaluar la influencia de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con tres densidades de siembra sobre parámetros productivos en el cultivo de quinua.

4. Marco teórico

4.1. El cultivo de quinua

4.1.1. Origen

La quinua es un pseudocereal, fue domesticada desde hace 3000 a 4000 A.C, en las regiones andinas de América del Sur, siendo centro de origen Perú y Bolivia, debido a sus condiciones agroecológicas este cultivo se extendió hacia Colombia, Ecuador y Chile antes de la conquista española. Sin embargo, este hecho histórico introdujo cereales como la cebada y el trigo, marginando el cultivo de la quinua y pasó desapercibida entre los habitantes por varios años (Chito et al., 2017).

El cultivo de quinua en nuestro país ha permanecido gracias a los esfuerzos realizados por los campesinos de las provincias como el Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo. Entre las variedades ecuatorianas destacan Chaucha, Punin, Grande y Staquinua con excelentes rendimientos (Tapia, 2012), en la actualidad cuentan con las variedades INIAP Tunkahuan y pata de venado (Murillo, 2023).

4.1.2. Importancia alimenticia del cultivo de quinua

La quinua ha recibido atención mundial por su valor nutricional, al ofrecer múltiples alternativas alimenticias (MAG, 2020), que proporciona proteína de alta calidad, grasas saludables, fibra, almidón, vitaminas y minerales que son indispensables para la salud entre ellos el hierro, calcio, magnesio, potasio y zinc, que podrían ayudar a reducir la desnutrición y el hambre en el mundo, especialmente en aquellos países donde las condiciones de producción agrícola son limitadas (Meléndez, 2021).

4.1.3. Producción mundial y nacional

Es un cultivo importante para los lugares altoandinos como: Perú, Bolivia y Ecuador, que registran las mayores áreas de cultivo de quinua, que representan el 76 % de las exportaciones mundiales, en contraposición al 16 % alcanzado por otros 120 países en los que está presente el grano (IICA, 2020). Teomiro, (2022) señala que en el año 2021 Perú presentó una producción internacional de 1,48 t, seguido de Ecuador con 0,93 t, y Bolivia con un rendimiento de 0,61 t (MAG, 2021; Orús, 2022). En nuestro país, la quinua se ha llegado a producir en diez provincias de la región Sierra, con un área potencial de 100,000 hectáreas, caracterizado por la producción de alimentos para el consumo nacional (Bazile et al., 2014), en el año 2021 la provincia de Chimborazo contó con una mayor producción de 1,482 t en una superficie sembrada de 2,390 ha con rendimiento de 0,62 t ha⁻¹, seguido de las provincias, Carchi, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Cañar (MAG, 2021). Por lo tanto, la producción de quinua es una alternativa que puede ayudar a nuestro país a salir de la pobreza, dada su

importancia en el mercado extranjero, ya que este grano es considerado un producto de exportación hacia países de América del norte y Europa; además en los últimos años la producción de quinua orgánica ha generado una fuente de ingresos para las comunidades indígenas de las zonas altas de la sierra en un 30 %, como es la provincia de Chimborazo (MAG, 2021).

4.1.4. Clasificación Taxonomía

La clasificación taxonómica de la quinua según la FAO (2022c) se encuentra establecida tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de quinua.	
Reino	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Caryophyllales
Familia:	Amaranthaceae
Subfamilia:	Chenopodioideae
Tribu:	Chenopodieae
Nombre científico:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.
Nombre común:	Quinua

Fuente: (FAO, 2022c)

4.1.5. Características Morfológicas del cultivo de la quinua

- **Altura.**

La quinua es una planta anual dicotiledónea generalmente herbácea que puede alcanzar los 0,5, 2,5 hasta 3 metros de alto dependiendo de la variedad, de las zonas agroecológicas donde se cultivan (García, 2020), (Cruz Díaz et al., 2021), del genotipo y las condiciones ambientales, así como también de la fertilidad del suelo (Cañete et al., 2021).

- **Raíz.**

La raíz de este cultivo varía de acuerdo al estado fenológico en el que se encuentra la planta. Al inicio comienza siendo una raíz pivotante, vigorosa y profunda, que llega a alcanzar hasta 1,8 metros en condiciones secas. Después se desarrolla en un sistema radicular altamente ramificado capaz de explorar los horizontes más profundos de la tierra (García, 2021). Este órgano estará determinado por la textura y la profundidad del suelo, y por la disponibilidad de agua, llegando a alcanzar longitudes de 0,5 a 1,5 m (Cañete et al., 2021).

- **Tallo.**

El tallo es cilíndrico y pasa a ser anguloso al madurar, presentando en el interior o médula de color blanca en las plantas jóvenes, y es esponjosa y hueca al madurar adquiriendo una tonalidad de un color crema (Casas, 2016). El número de ramificaciones depende de la densidad de la población en la que se encuentra el cultivo y está directamente influenciado por el genotipo (Cañete et al., 2021).

- **Hoja.**

La forma de las hojas en la base son romboides, mientras que las hojas superiores que rodean la inflorescencia son lanceoladas y la lámina foliar de las hojas jóvenes se encuentra cubierta con pubescencia granulosa vesiculosa en la parte del envés y algunas veces en el haz. Este recubrimiento suelen ser de color blanco al rojo-púrpura (Casas, 2016).

- **Inflorescencia.**

La inflorescencia es racimosa por su disposición floral conocido como panoja, este cultivo presenta dos tipos de panoja: la glomerulada que es más densa y la amarantiforme cuando el eje glomerular nace directamente del eje principal. La inflorescencia, tanto de tipo glomerulada como la inflorescencia amarantiforme, suelen ser laxa o compacta; este carácter y la longitud de la panoja están estrechamente relacionados con el rendimiento del cultivo. Las inflorescencias densas y de mayor tamaño (70 cm) pueden obtener un rendimiento de 220 g de granos por planta (Casas, 2016). La inflorescencia de esta especie puede presentar una longitud variable que va de 15 a 70 cm, y cuenta con un eje principal del cual se originan ejes secundarios y terciarios. Se forma en la parte terminal del tallo principal o puede hacerlo en las axilas de hojas (Cañete et al., 2021).

- **Fruto.**

El fruto es un aquenio indehisciente que contiene un grano que puede llegar a medir hasta 2,66 mm de diámetro (León-Lobos et al., 2015). Su forma suele variar las cuales pueden ser lenticular, elipsoidal, cónica o cilíndrica, de tonalidades claras u oscuras y posee diámetros pequeños, medianos y grandes (Arenas y Hernández, 2017).

- **Semilla.**

La semilla presenta 3 partes bien definidas: el episperma, en el cual se encuentra la saponina, el embrión que consta de dos cotiledones, y la radícula que constituye el 30 % del volumen total de la semilla que recubre el perisperma en forma de anillo. El perisperma es el primer tejido de almacenamiento, está determinado principalmente por granos de almidón de

color blanquecino, que constituye casi el 60 % de la superficie de la semilla (Arenas y Hernández, 2017).

4.1.6. Fenología

La quinua presenta fases fenológicas bien definidas de los cambios externos visibles que se dan a lo largo del crecimiento y desarrollo de la planta, los cuales responden a las condiciones ambientales presentes de cada lugar. Su monitoreo durante este proceso es una práctica muy importante, que ayudará a agricultores y técnicos a planificar futuras labores agrotécnicas como culturales, riegos, control de plagas y enfermedades, aporques e identificación de épocas o momentos críticos y a obtener una idea concreta del rendimiento potencial (Veas y Cortés, 2018).

La fenología de la quinua cuenta de tres etapas: la vegetativa, reproductiva y una etapa final de maduración (Veas y Cortés, 2018). Su ciclo fenológico va desde los 145 a los 180 días dependiendo del genotipo (Gómez y Aguilar, 2016).

- **Germinación.**

Las semillas de quinua presentan una mayor germinación en condiciones adecuadas de humedad, oxígeno y temperatura. Siendo la radícula la primera estructura en emerger que se extiende hacia el suelo y da inicio con la formación del sistema radicular (Gómez y Aguilar, 2016).

- **Emergencia.**

En esta fase la radícula se alarga hacia el interior del suelo para posteriormente dar al sistema radicular. Luego se puede denotar el hipocótilo que emerge de la pequeña semilla y atraviesa el suelo para dar lugar a los cotiledones que se abren y se vuelven de color verdoso, iniciando el proceso de la fotosíntesis. Estos cotiledones se pueden observar entre 7- 10 días después de la siembra (García, 2020).

- **Desarrollo vegetativo.**

Desarrollo de las hojas: En esta fase existen tres subetapas sucesivas, en la primera etapa las hojas comienzan a aparecer entre los cotiledones en dirección opuesta simétrica y perpendiculares a ellos. Estas dos primeras hojas se presentan en forma romboidal y se encuentran en botón el siguiente par de hojas que emergerá. La aparición de las primeras hojas verdaderas se da a los 15-20 días después de la siembra (García, 2020).

Después de las dos primeras hojas verdaderas, a los 25-30 días después a la siembra, aparecen otras dos hojas verdaderas con el siguiente botón floral preparado para su emergencia. En este punto la quinua puede tolerar el frío y la sequía (García, 2020).

Seguidamente, a los 35-45 días, aparece la quinta y sexta hojas verdaderas, en este momento los cotiledones que habían salido en la fase de emergencia pasan a ser de color amarillento (García, 2020).

- **Formación de brotes laterales, alargamiento del tallo.**

Estas dos fases se encuentran asociados en la etapa de ramificación, generándose en los 45-50 días después de la siembra (García, 2020).

Ramificación: Este proceso inicia cuando la planta contiene cinco pares de hojas verdaderas, por tanto, esta fase se superpone al desarrollo vegetativo y al desarrollo de botón floral. Los brotes formados en las axilas en las primeras hojas se activan de manera secuencial; iniciándose con la yema axilar de la primera hoja y así sucesivamente (Gómez y Aguilar, 2016).

- **Desarrollo de las partes vegetativas cosechables.**

Desarrollo del Botón floral: Esta fase fenológica se encuentra con la fase de desarrollo vegetativo y con la fase de ramificación. Se reconoce fácilmente por la aparición del primordio o botón floral en el ápice de la planta, que se observa como una estructura compacta protegida por hojas y cubierta por una pubescencia granular vesicular rica en oxalato de calcio. Esto se hace evidente alrededor del estado de 5 pares de hojas (Gómez y Aguilar, 2016).

- **Emergencia de las inflorescencias.**

Desarrollo de la inflorescencia o panoja: Esta etapa de desarrollo de la inflorescencia o panoja, comprende de dos subfases que son al inicio de desarrollo de la panícula, generando estas subfases de manera muy cercana y continuada (Gómez y Aguilar, 2016).

Esta fase inicia con la emergencia del ápice de la inflorescencia donde forma una aglomeración de hojas pequeñas que recubren la panoja. Este recubrimiento se da a los 55-60 días después de la siembra, donde se puede observar el amarillamiento de las primeras hojas verdaderas, puesto que han dejado de ser fotosintéticamente activas. Continúa con el desarrollo de la inflorescencia donde sobresale con claridad por encima de las hojas, observándose los glomérulos que la forman. Esto ocurre a los 65-70 días después de haberse producido la siembra (Gómez y Aguilar, 2016).

- **Antesis.**

La antesis inicia con la floración: Es la fase donde las flores hermafroditas liberan gran cantidad de polen, que suelen ser dispersados por insectos y el viento, determinándose una polinización cruzada de alrededor del 17 %. Esta fase termina con la muerte de las anteras y el cierre de las membranas externas de los sépalos junto con la eliminación de hojas en la base de la planta. Esta fase es muy susceptible a las temperaturas elevadas y al ataque de plagas como

Eurysacca y de chinches (*Liorrhysus hyalinus*, *Dagbertus nr fasciatus*, *Dagbertus sp*, *Nysius simulans*) (Gómez y Aguilar, 2016).

- **Floración.**

La apertura de las flores, en algunos cultivares, se inicia en la flor hermafrodita del ápice del glomérulo y las flores ubicadas en diferentes partes del glomérulo. La floración de las inflorescencias ramificadas puede comenzar durante la antesis de la inflorescencia principal y durar más que la de la inflorescencia principal. Las flores permanecen abiertas durante un promedio de 5 a 7 días con un tiempo máximo de apertura entre las 10 a.m. y las 2:00 p.m (García, 2021).

Presenta la sincronización en la floración, siendo un mecanismo importante para tolerar altas temperaturas en la fase de la floración, de esta manera asegurar que parte de la inflorescencia pueda tener flores viables. La floración de la misma flor dura de 12 a 15 días. Teniendo una variable en algunos cultivares es corta y en otras puede tomar más tiempo (García, 2021).

- **Desarrollo del fruto, maduración del fruto y madurez total.**

Fruto, Crecimiento y Estado acuoso: Una vez fecundado los frutos comienzan a crecer y desarrollarse. El crecimiento se va evaluando en términos de tamaño y de la parte ocupada dentro del espacio formado por el perigonio sepaloide en 25 %, 50 %, 75 % y 100 % (Gómez y Aguilar, 2016). Comienza con una etapa conocida como grano lechoso la cual ocurre a los 100-130 días de la siembra (García, 2020).

Fruto en Estado lechoso: El fruto en este punto se superpone con la del estado acuoso. Los granos se forman y con un 100 % de su tamaño comienza a recibir productos fotosintéticos de las partes verdes de la inflorescencia y las hojas, donde la sustancia acuosa que se encuentra en el grano es reemplazada por una sustancia lechosa (Gómez y Aguilar, 2016).

Fruto en Estado Masoso: Los frutos al ser presionados con las yemas de los dedos, el grano presenta una consistencia pastosa de color blanco con una humedad alrededor de 45 %. En esta fase la planta alcanza la madurez fisiológica, iniciando el proceso de pérdida de la humedad de los granos, para su posterior cosecha, por tanto, el porcentaje de humedad en los granos son similares a los obtenidos en los frutos de los cereales (Gómez y Aguilar, 2016).

4.2. Densidades de siembra de la quinua

- **Densidad de siembra o cantidad de semilla ha⁻¹**

La cantidad de semilla a emplear va depender de acuerdo el:

Tamaño de la semilla: se debe usar una mayor cantidad de semillas cuando estas son grandes y una menor cuando son pequeñas. El peso de mil granos de quinua varía de 1,5 a 3 g.

Área de siembra: se recomiendan 10-12 kg ha⁻¹ de semillas en la costa o en zonas de relieves planos y con buena disponibilidad de humedad del suelo. En zonas de altiplano y valles interandinos, en condiciones de secano, se recomienda sembrar más semillas de 15-20 kg ha⁻¹, especialmente en suelos pedregosos, con pendientes pronunciadas y poco profundas y debido a que se secan muy rápidamente por la alta radiación solar característica de estas zonas (Gómez y Aguilar, 2016).

4.3. Métodos de siembra

La siembra se debe realizar tan pronto como el suelo esté preparado. Para de esta manera aprovechar la humedad que contiene el suelo, y ayudar a la germinación de las semillas, lo cual elimina en gran parte la competencia con maleza. Las semillas de este cultivo son pequeñas y deben sembrar con el mayor cuidado para lograr una buena germinación y rendimiento. La quinua se puede sembrar directamente o por trasplante (Martínez et al., 2012).

4.3.1. Siembra directa

- **Siembra manual**

Es el sistema más tradicional utilizado en el altiplano boliviano, el cual consiste cavar un hoyo en la tierra hasta encontrar humedad con la ayuda de una herramienta ancestral “Liukana” y luego se debe dejar caer entre 50 a 100 semillas por “golpe” y cubrirlas con una ligera capa de tierra (Martínez et al., 2012).

- **Surcado**

En esta labor se debe realizar surcos con distanciamientos de 50 a 80 cm. Esto ayudará con las labores agrícolas como la eliminación de plantas arvenses, el raleo y principalmente el aporque, brindándole un mayor soporte a las plantas evitando el encame, para este sistema de siembra se requiere una cantidad de semilla de aproximadamente 8-10 kg/ha (SENASA, 2015).

Ubicación de las semillas:

Con el sistema riego por goteo, las semillas deben ser ubicadas a una distancia de 5-10 cm de la cinta de goteo. Además, se puede colocar en doble hilera (Gómez y Aguilar, 2016).

Con riego por gravedad, las semillas deben ser colocadas en el costillar del surco a aproximadamente 10 cm del fondo.

Con lluvia, las semillas se deben colocar al fondo del surco en zonas de baja precipitación, y en el lomo del surco en zonas de alta precipitación (Gómez y Aguilar, 2016).

Al voleo, es un sistema de siembra más común en la Sierra; esto se hace cuando no se dispone de implementos para arar o surcar, el suelo debe tener suficiente humedad y no tener problemas de inundación. Se utilizan 12-15 kg/ha de semilla (SENASA, 2015).

En hilera, este proceso se realiza después de pasar una rastra, ya sea con tracción animal o de un tractor agrícola para abrir hileras (surcos) a una distancia de 30 a 50 cm. La siembra consiste en esparcir las semillas a chorro continuo en las hileras, para luego fragmentar los terrones y cubrirlos con una fina capa de tierra. Se utilizan 10 a 12 kg ha⁻¹ de semilla (SENASA, 2015).

4.3.2. Siembra mecanizada

Es un sistema avanzado desarrollado en Bolivia. Se trata de una herramienta para acoplar al tractor, que siembra por golpes regulando la distancia entre hileras y entre plantas (Martínez et al., 2012). Es necesario calibrar la sembradora cada vez que se realice la siembra, esto dependerá de la semilla de la variedad de quinua y el lugar a sembrar, igualmente se debe revisar la profundidad del tapado y el distanciamiento de los dispositivos que abren y tapan el surco o línea de siembra (Gómez y Aguilar, 2016).

4.3.3. Trasplante

Este sistema de siembra es muy usado en los valles interandinos, donde disponen agua para riego, su uso se ha evidenciado en las zonas costeras para evitar el exceso de plantas que generan un aumento del costo de producción y de mano de obra para la labor de raleo que es escasa en la costa.

Para ello primeramente se debe incorporar una cama almaciguera acompañado de una mezcla de estiércol, arena y tierra en la proporción de 1:2:3. Luego se surca a un distanciamiento de 10 cm a razón de 1 kg ha⁻¹, acompañado de riego por aspersión hasta que las plantas alcancen alturas de 10-15 cm, posteriormente se procede al trasplante que alcanzan un promedio de 200,000 plantas por hectárea (SESAN, 2013).

Rodas y flores (2018) recomiendan que para un mejor rendimiento es necesario sembrar las plantas cuando presenten como máximo hasta cuatro hojas verdaderas, ya que posteriormente las plantas presentan bajos rendimientos, requieren más tiempo para su formación y presentan deformaciones en las panojas.

4.4. Requerimientos edafoclimáticos para el cultivo de la quinua

4.4.1. Suelo

Este cultivo se adapta fácilmente a un suelo franco, de buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, con pendiente moderada y un contenido de nutrientes, ya que para su óptimo desarrollo requieren de nitrógeno y calcio, fósforo y en menor cantidad de potasio. También llega a adaptarse a suelos francos arenosos, arenosos o francos arcillosos, con los nutrientes necesarios y no exista la posibilidad de encharcamiento del agua, puesto que es muy susceptible al exceso de humedad sobre todo en los primeros estados (SESAN, 2013).

4.4.2. pH

La planta necesita un nivel de pH neutro, puede crecer muy bien en suelos alcalinos de hasta 9, así como también en suelos ácidos de hasta 4,5 esto dependerá de la variedad de quinua. Sin embargo, el valor de pH óptimo oscila de 6,5 a 8,0 (Calla, 2013).

4.4.3. Temperatura

Debido a la gran variabilidad genética, la quinua se adapta a diferentes climas, desde cálidos-secos, temperados lluviosos-fríos, y lluviosos. Las temperaturas óptimas de crecimiento y desarrollo, dependen de las variables que se sitúan entre los 15 a 25 °C. El cultivo de quinua llega a tolerar las heladas y temperaturas altas en las fases de desarrollo vegetativos y la formación de la inflorescencia, no así desde la floración hasta el estado de grano pastoso. Tanto las temperaturas bajas como las altas provocan esterilidad de polen y afectan el desarrollo y crecimiento de la planta, dando lugar a esterilidad o granos inmaduros, arrugados o de bajo peso dependiendo del tiempo o momento en que se produce el estrés (Gómez y Aguilar, 2016).

4.4.4. Agua

La quinua es un cultivo altamente eficiente en el uso del agua, a pesar de ser una planta C3, puesto que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos, los que no solo evitan al déficit de humedad, sino que toleran y resisten a la escasez de agua disponible en el suelo, además se le encuentra creciendo y dando producciones rentables con precipitaciones mínimas de 200-250 mm anuales (SESAN, 2013).

4.4.5. Radiación

La radiación permite compensar las horas de radiación necesarias para cumplir con su periodo de crecimiento y productivo. Los altos niveles de luz son beneficiosos para el cultivo de la quinua, debido a que contribuye a una mayor actividad fotosintética (Senamhi, 2017).

4.4.6. Fotoperíodo

En el hemisferio sur, especialmente en las tierras altas, los cultivos prosperan con 12 horas de sol, lo que favorece la floración y maduración de los granos, mientras que en el hemisferio norte y las zonas australes, prospera en forma adecuada con 14 horas de luz solar por día, suficiente para el crecimiento de cultivos (Senamhi, 2017).

4.5. Estudios sobre los efectos de los sistemas de siembra y densidades de siembra sobre el crecimiento y rendimiento de la quinua.

En un estudio realizado en Egipto sobre el cultivo de quinua, evaluaron el efecto de diferentes espacios inter e intra acerca del rendimiento y calidad de quinua, con la variedad danesa KVL 370, en sus resultados determinaron un mayor rendimiento del grano cuando emplearon una interacción de 20 hileras * 10 planta (500 000 plantas⁻¹) y podría disminuir al

utilizar medidas de población de $30 * 20$ ($166\ 666$ plantas⁻¹) (Sief et al., 2015). En cambio, Aser et al. (2022) en su investigación acerca del efecto del espaciamiento entre hileras sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad del grano, con los genotipos Mint Vanilla y la accesión 4E, en el norte de Israel establecieron parcelas de 16 cm entre hileras en comparación con las de 80 cm entre hileras, sus resultados fueron que el tratamiento de 16 cm entre hileras con densidades de 40 a 50 semillas m⁻¹, podría ser el espacio óptimo para la obtención de mayores rendimientos y calidad del grano.

Al igual que los anteriores autores Eisa et al. (2018), realizaron experimentos de campo durante dos temporadas de invierno consecutivas de 2015/2016 y 2016/2017 para evaluar la respuesta del rendimiento y calidad de semilla de quinua cv. CICA con densidades de siembra de 56 000 y 167 000 planta ha⁻¹, utilizaron un diseño de bloques completamente al azar con seis repeticiones, durante el desarrollo de la investigación los resultados obtenidos mostraron que el aumento en la densidad de siembra llevó a un incremento significativo en el rendimiento de semillas por unidad de superficie. Además, determinaron que el rendimiento de semilla por hectárea a una alta densidad aumentó significativamente en un 34,7 % en comparación de la densidad de siembra baja.

Por otro lado, Rodas y Flores (2018) determinaron en su estudio una mayor tasa de supervivencia de las plántulas trasplantadas en campo, entre 99,5 a 93,5 %, a diferencia de la siembra directa con un 79,5 %. Respecto al rendimiento, el tratamiento testigo (siembra directa) presentó el mayor rendimiento con 4043,18 kg ha⁻¹, seguido del tratamiento trasplante con cuatro hojas verdaderas con 3554,87 kg ha⁻¹.

Finalmente, Ludvigson et al. (2019), en la variedad FRF, en su estudio presentaron una menor tasa de supervivencia de plantas en siembra directa con un 90 % de germinación y trasplantada en un 96 %, probablemente las causas de estas diferencias fueron por niveles excesivos de precipitación, así obtuvieron un rendimiento medio de 3440 kg ha⁻¹ en el método de trasplante, mayor que el de la quinua sembrada directamente (2227 kg ha⁻¹).

5. Metodología

4.6. Ubicación del estudio

La investigación se desarrolló en el invernadero de la Quinta Experimental Docente “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, la cual está ubicada en la parroquia San Sebastián, barrio La Argelia, cantón y provincia Loja. Geográficamente se encuentra situada en las siguientes coordenadas: $4^{\circ} 1' 57''$ de la latitud Sur y de $79^{\circ} 12' 14''$ oeste (Mapcarta, 2022) y altitud de 2138 m.s.n.m (González, 2019) (**Figura 1**). Según González (2019) el área de estudio presenta una temperatura media de $16,1^{\circ}\text{C}$, con precipitaciones de 1089,3 mm anuales y una humedad relativa del 74 %. El suelo del lugar posee un pH de 5,3 y 1,5 % de materia orgánica.

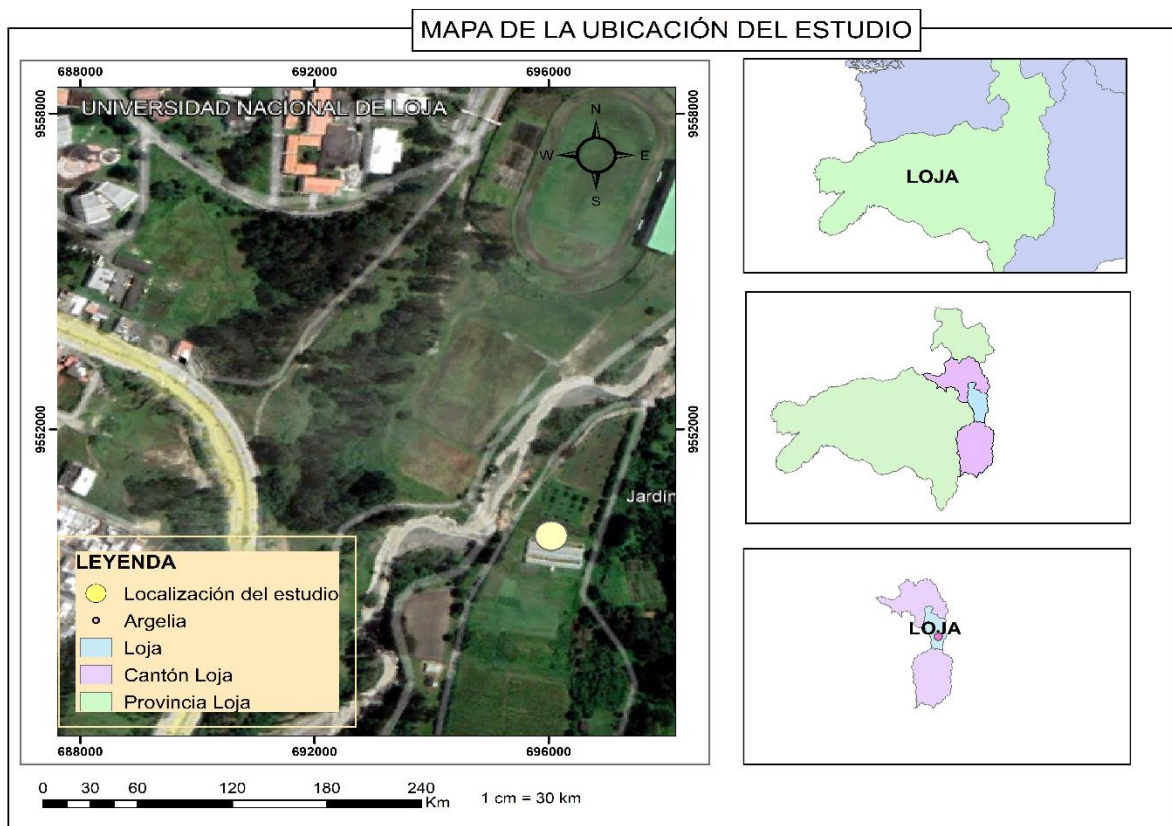


Figura 1. Mapa de ubicación del lugar de estudio, Quinta experimental Docente “La Argelia”

Fuente: Autor

4.7. Metodología general

4.7.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental, debido a que se desarrolló un diseño experimental con tratamientos y repeticiones; además la investigación es de tipo cuantitativo, ya que las mediciones en cada variable lanzaron datos numéricos que fueron evaluados, comparados y analizados mediante un análisis estadístico.

Además, este tipo de investigación presenta un alcance de tipo correlacional, debido a que se estudió dos factores como los métodos y densidades de siembra, mismas que se encuentran estrechamente relacionadas con las respuestas del crecimiento y rendimiento del cultivo de quinua.

4.7.2. Diseño experimental

Para esta investigación se estableció un Diseño completamente al Azar (DCA), con arreglo bifactorial, el cual cuenta con un factor método de siembra (**A**) a chorro continuo y trasplante, y un factor de densidad (**B**) de tres niveles: alto, medio y bajo (20, 13, 8 plantas m⁻²), generando 6 tratamientos, con tres repeticiones, dando un total de 18 unidades experimentales (parcelas) cada parcela tuvo un área de 1,32 m² (**Figura 2, Tabla 2**). Para este estudio se utilizó la variedad Tunkahuan obtenida del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP) de la ciudad de Quito.

Tabla 2. Características de la estructura del diseño sobre los métodos de siembra y densidad de siembra en el cultivo de quinua bajo condiciones controladas en el sector La Argelia.

Parámetro	Cantidad
Tratamientos	6
Número de repetición por tratamiento	3
Unidades experimentales (parcelas)	18
Área de la parcela	1,32 m ²
Distancia entre parcelas	20 cm, 10 cm
Bordes	1 m
Distancia entre surcos	0,5
Distancia entre plantas	0,10 m, 0,15 m, 0,25 m
Número de surcos por parcela	3
Semillas por parcela	27, 18, 11
Área útil	30,4 m ²

Las densidades de plantas en los diferentes tratamientos tanto en factor A (Método de siembra) y B (Densidad de siembra) se calcularon de acuerdo al tamaño de cada unidad experimental, siendo 1m⁻² sobre las distancias de 0,10 m, 0,15 m, 0,25 m entre planta y por la distancia entre surco de 0,5 m, para las densidades de 20, 13 y 8 plantas m⁻², respectivamente (**Tabla 2, Tabla 3**), mismas que fueron estudiadas en las variedades de quinua Titicaca, Negra Collana y Pasankalla por Dao et al. (2020).

Tabla 3. Tratamientos implementados en el ensayo sobre los métodos de siembra y densidades de siembra en el cultivo de quinua en el sector La Argelia, Loja.

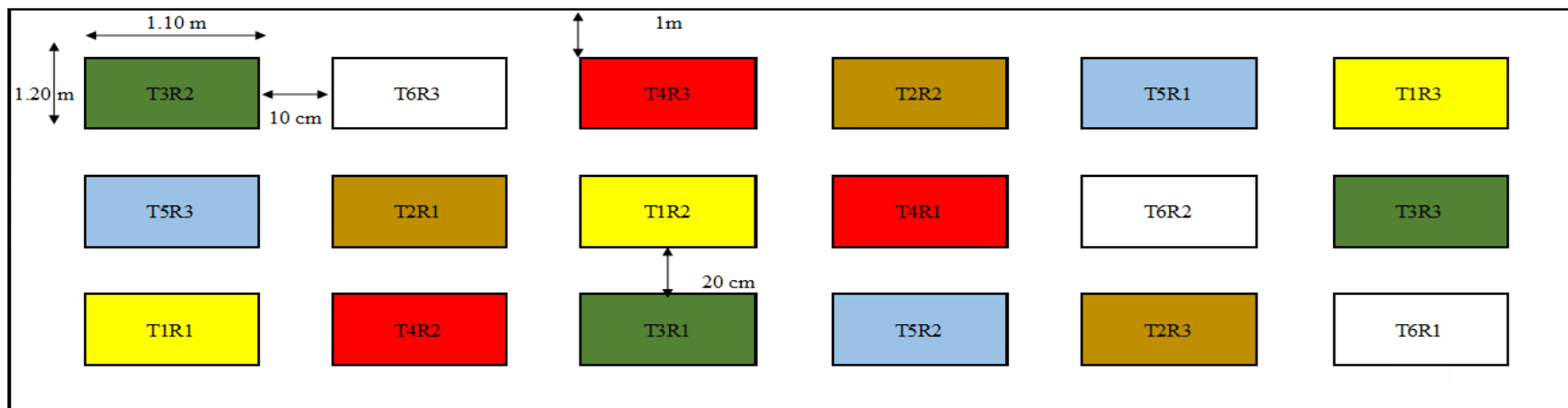
Factor A	Factor B	Tratamientos	Repetición
Métodos de siembra	Densidad de siembra (plantas m ⁻²)	Nro. De tratamiento: Método *Densidad	
A chorro continuo	20	T1: (A chorro continuo * 20 plantas m ⁻²)	3
	13	T2: (A chorro continuo * 13 plantas m ⁻²)	3
	8	T3: (A chorro continuo * 8 plantas m ⁻²)	3
Trasplante	20	T4: (Trasplante * 20 plantas m ⁻²)	3
	13	T5: (Trasplante * 13 plantas m ⁻²)	3
	8	T6: (Trasplante * 8 m ⁻²)	3

4.7.3. Modelo matemático

El modelo matemático corresponde al Diseño Completamente al Azar con arreglo Bifactorial empleado es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha * \beta)_{ij} + E_{ijk}$$

- Y_{ijk} = respuesta de las k repeticiones en los i niveles del factor métodos de siembra y j nivel del factor densidad de siembra.
- μ =media general de las observaciones.
- α_i =efecto de los i -ésimo niveles del factor método de siembra.
- β_j = efecto de los j -ésimo niveles del factor densidad de siembra.
- $(\alpha * \beta)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el nivel i del método de siembra con el nivel j de densidad de siembra.
- ε_{ijk} = error asociado a la ijk observación, que se supone normal independientemente distribuidas con esperanza 0 y varianza σ^2



- Tratamientos: Método de siembra * Densidad de siembra**
- T1: (A chorro continuo * 20 plantas m⁻²)
 - T2: (A chorro continuo * 13 plantas m⁻²)
 - T3: (A chorro continuo * 8 plantas m⁻²)
 - T4: (Trasplante * 20 plantas m⁻²)
 - T5: (Trasplante * 13 plantas m⁻²)
 - T6: (Trasplante* 8 plantas m⁻²)

Figura 2. Disposición del ensayo en campo, con métodos de siembra a chorro continuo y trasplante y las diferentes densidades de siembra, en el cultivo de quinua variedad Tunkahuan.

4.7.4. Preparación del terreno

Para la preparación del terreno, se realizó la eliminación de las arvenses con ayuda de una lampa, enseguida se removió y se niveló el suelo, luego con el uso de piolas, estacas de madera de 60 cm de largo y pala manilla, se continuó con la delimitación de las parcelas establecidas en el diseño experimental (Figura 2), con sus respectivos espacios internos, bordes y surcado.

4.7.5. Siembra

Después de la preparación del suelo, la fecha de siembra se estableció el día 13 de marzo de 2023, con un arreglo espacial de 0,5 entre surco, se sembró la variedad de quinua Tunkahuan con los respectivos métodos de siembra a chorro continuo, trasplante y las distintas densidades de siembra establecidas en la Tabla 3. Para el trasplante se realizaron semilleros en bandejas con sustrato turba; después que las plántulas alcanzaron 4 a 6 hojas verdaderas, se procedió a sembrar. En los dos sistemas de siembra se aplicó abono biocompost, para la siembra a chorro continuo se empleó en cada surco, a fin de ayudar a la emergencia de las plántulas, mientras que para el trasplante se colocó en cada hoyo (Anexo 5).

4.7.6. Fertilización

En la determinación de la corrección del suelo, se tomó un análisis del suelo realizado en el sector la Argelia, por Pineda (2021), donde obtuvieron un Ph: 5,96; materia orgánica de 1,77 %, con los respectivos macro y micronutrientes disponibles; N: 0,09 %; P: 16,3 mg/ kg; k: 0,10 cmol/ kg; Ca: 3,81 cmol/kg; Mg: 0,28 cmol/kg; Fe: 205,1 mg/kg; Mn: 13,17 mg/kg; Cu: 2,68 mg/kg y Zn de 1,60 mg/kg. Con respecto a ello se realizó un plan de fertilización a base de urea (N: 46 %), muriato de potasio (42 % k_2O) y fosfato diamónico (18 % N: 46 % P_2O_5), determinándose una dosis de 21, 23, 44 g parcela⁻¹, repartidas en tres aplicaciones de 20 %, 30 % y 50 % respectivamente (Anexo 1-22).

4.7.7. Riego

El riego se realizó con una frecuencia de 3 a 5 días, esto fue dependiendo de la humedad del suelo. Los volúmenes de agua fueron iguales para todos los tratamientos hasta la madurez fisiológica de la quinua.

4.7.8. Control de malezas

Se realizó el respectivo deshierbe con ayuda de una lampa, con el fin de remover las arvenses de las parcelas, pero entre plantas se eliminó de forma manual para no causar daño al cultivo (Anexo 21).

4.7.9. Raleo

Esta labor se hizo cuando las plantas tenían 25 días de edad después de la siembra. Se realizó de manera manual la eliminación de las plantas débiles y enfermas dejando las mejores distribuidas de acuerdo al número de plantas por metro correspondiente a cada tratamiento.

4.7.10. Medición de datos climáticos (temperatura y humedad relativa)

Con la ayuda de un termohigrómetro Elitech Modelo 40550 colocado en la mitad del cultivo, se registraron los datos climáticos como temperatura (máxima, media, mínima) y la humedad relativa, con registros diarios desde la siembra hasta la madurez fisiológica de la planta.

4.7.11. Control de enfermedades en el cultivo de quinua

Se monitoreó la presencia de plagas y enfermedades en todo el ciclo de cultivo, presentando al inicio del establecimiento la enfermedad Chupadera Fungosa (*Rhizoctonia solani*) para ello se aplicó Phyton con una dosis 3 ml en 2 litros de agua, luego de ello se encontró la presencia de la enfermedad mildiu (*Peronospora variabilis*) en la fase reproductiva, para lo cual se aplicó Mancozeb 45 ml por bomba de 20 litros cada 15 días.

4.8. Metodología para el objetivo 1

“Evaluar la influencia de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, usando tres densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento en el cultivo de quinua”

Para la medición de las variables altura de la planta, diámetro del tallo e índice de área foliar, la recolección de los datos se llevó a cabo cada 14 días en dos plantas centrales seleccionadas al azar, cada una de ellas fueron marcadas con una etiqueta (constando el número que le corresponde a cada planta).

- **Altura de la planta.**

Esta variable se evaluó en cm, en cada una de las plantas se midió con un flexómetro desde la base inferior del tallo, hasta el ápice de la panoja principal de la quinua (Mestanza et al., 2022).

- **El diámetro del tallo.**

Para este parámetro se tomaron los datos en centímetros (cm) con la ayuda de un calibrador o pie de rey a partir de los 5 cm del nivel del suelo (Anexo 23), desde que las plantas presentaron 6 a 8 hojas verdaderas (Mestanza et al., 2019).

- **Índice de área foliar**

Es la relación entre la superficie foliar (m^2) respecto a los m^2 de la superficie del suelo (Segales y Rodríguez, 2013). La evaluación de datos se realizó, una vez que las plantas

presentaron ramas laterales, con la ayuda de una cámara GoPro HERO9 que contiene un lente especial ojo de pez circular que captura un ángulo de visión de 180 grados. Para la medición se ubicó la cámara en la parte media de dos hileras de cada parcela a fin de capturar ocho fotografías tomadas mirando hacia arriba, esto se realizó por cada tratamiento (Anexo 24). Finalmente, las fotos hemisféricas fueron analizadas en el software Can- Eye (Weiss,2020).

- **Biomasa en inicio de floración**

Se cosechó una planta por parcela (diferente a las seleccionadas para las otras variables) en fase de floración, se sustrajo la parte aérea a partir de los 5 cm del suelo, luego se procedió a guardar en fundas plásticas negras, en seguida se llevaron al Laboratorio de Suelos, Agua y Bromatología, donde se procedió a picar las plantas con el uso de un estilete para luego guardarlas en bolsas de papel y secarlas en una estufa a 65 °C durante 72 horas. Finalmente se pesó en una balanza digital y se obtuvo la biomasa (Anexo 25-28-30).

4.9. Metodología para el objetivo 2

“Evaluar la influencia de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, usando tres densidades de siembra sobre parámetros productivos en el cultivo de quinua”

Para analizar el efecto que producen los métodos y densidades de siembra en el rendimiento de la quinua, se procedió a evaluar las siguientes variables: longitud de la panoja principal, peso de la panoja principal, número de granos planta⁻¹, número de granos m⁻², peso de 1000 granos, biomasa en cosecha, rendimiento, e índice de cosecha, en las mismas dos plantas seleccionadas en el objetivo 1 y una planta adicional a las evaluadas, cuando estas alcanzaron la madurez fisiológica:

- **Fenología:** Para poder verificar las diferentes etapas de la planta de quinua se hizo uso de la escala BBCH descrita por Sosa et al. (2017) (Tabla 4) (Anexo 2). Los datos fueron tabulados de acuerdo a los cambios que presentaron en la morfología de la planta y fueron registrados cuando el 50 % de las plantas pasaron a otro estado fenológico (Anexo 6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-26) la evaluación se realizó cada cinco días en el total de la parcela.

Tabla 4. Etapas del crecimiento fenológico basadas en la escala BBCH para el cultivo de quinua.

<i>Código</i>	<i>Descripción</i>
0	Germinación
1	Desarrollo de las hojas
2	Formación de brotes laterales
3	Elongación del tallo
4	Desarrollo de partes vegetativas cosechables
5	Emergencia de la inflorescencia
6	Floración
7	Desarrollo del fruto
8	Fruto maduro
9	Senescencia

Fuente: (Sosa et al., 2017).

- **Longitud de la panoja principal:** Se procedió a medir con un flexómetro desde la base hasta el ápice de la panoja (García-Parra et al., 2017). Las medidas para esta variable se expresaron en centímetros (cm) (Anexo 28).

- **Peso de la panoja principal:** Se recolectaron las panojas principales de cada una de las plantas evaluadas y se llevaron al laboratorio (Fisiología vegetal) para determinar su peso en una balanza digital, los datos fueron registrados en gramos (g) (García-Parra 2017).

- **Número de granos:** Para determinar esta variable se cosecharon (Anexo 27) y se trillaron la planta entera, posteriormente se hizo la limpieza mediante tamizadores y la máquina de limpiar la quinua (Anexo 31), luego se empaquetaron en fundas plásticas transparentes a cada una de las muestras (Anexo 32), posteriormente se pesó el total de granos por planta, adicional a ello con el peso de 1000 semillas (Anexo 33), se estimó el número total de granos por planta. Después de determinar el número de granos por planta se calculó por metro cuadrado con la siguiente ecuación matemática:

$$NGm^{-2} = NGP * NPM^{-2}$$

Donde:

$$NGm^{-2} = \text{Número de granos por m}^{-2}$$

$$NGP = \text{Número de granos por planta}$$

$$NPM^{-2} = \text{Número de planta por m}^{-2}$$

- **Peso de 1000 granos:** Se contabilizaron 1000 semillas seleccionadas al azar (Mestanza et al., 2019), después se pesaron en una balanza analítica (Anexo 33).

- **Rendimiento:** Una vez que se obtuvo el peso promedio de los granos y el número de granos por metro cuadrado se determinó el rendimiento mediante la siguiente fórmula:

$$R = NG \text{ m}^{-2} * PG$$

Donde:

R = rendimiento

$NG \text{ m}^{-2}$ = número de granos por metro cuadrado

PG = Peso promedio de los granos

- **Biomasa en cosecha:** Esta variable fue evaluada con la misma metodología de la biomasa realizada en el objetivo 1, una vez que llegó a la madurez fisiológica (Anexo 29-30).

- **Índice de cosecha:** Es el rendimiento del grano con la biomasa aérea seca, es decir que, a mayor biomasa aérea seca, menor será el índice de cosecha. Por tanto, el cálculo de este parámetro nos permitió conocer la capacidad de la planta en producir el grano, para ello se empleó la fórmula matemática descrita por Barrios (2015):

$$IC = \frac{\textit{rendimiento del grano}}{\textit{peso de la biomasa aérea seca}}$$

- **Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico, se registró la información en Microsoft Excel, posteriormente se tabularon los datos para ser analizados en el software InfoStat versión 2017 (Di Renzo et al., 2003). En primer lugar, se comprobó la distribución normal de los datos mediante los supuestos de normalidad, con la prueba de Shapiro-Wilks, y homogeneidad con el Test de Levene, posteriormente se realizó un análisis estadístico de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia al 5 %, también se aplicó Test de Tukey (95%) para identificar el mejor tratamiento. Para estimar la relación entre variables cuantitativas se ejecutó un análisis de Correlación de Pearson (95%).

6. Resultados

4.10. Condiciones climáticas y fenología del cultivo de quinua

Durante el transcurso del desarrollo del cultivo de quinua se presentaron las siguientes condiciones climáticas: la temperatura media osciló de 16,75 a 24,45 °C, la temperatura mínima fluctuó entre los 15,7 a 9 °C y la temperatura máxima entre los 19,3 y 34,8 °C. La temperatura estuvo por encima del rango óptimo para la quinua entre los días 2 y 9 después de la siembra (DDS) llegando a una temperatura máxima de 39,1 °C, lo que coincidió con el apareamiento del primer par de hojas (BBCH 11) de todas las plantas del ensayo, independiente del tratamiento. Con respecto a la temperatura mínima, esta se presentó en el día 113 DDS y 159 DDS con 8 y 7 °C, dentro de la etapa desarrollo del fruto (BBCH 70) y grano pastoso (BBCH 85), tanto para a chorro continuo y trasplante, respectivamente.

En cuanto a la humedad relativa, el valor más alto se evidenció en el día 95 DDS al final de la floración (BBCH 60) para a chorro continuo y al inicio de la floración (BBCH 60) en el caso del trasplante (Figura 3).

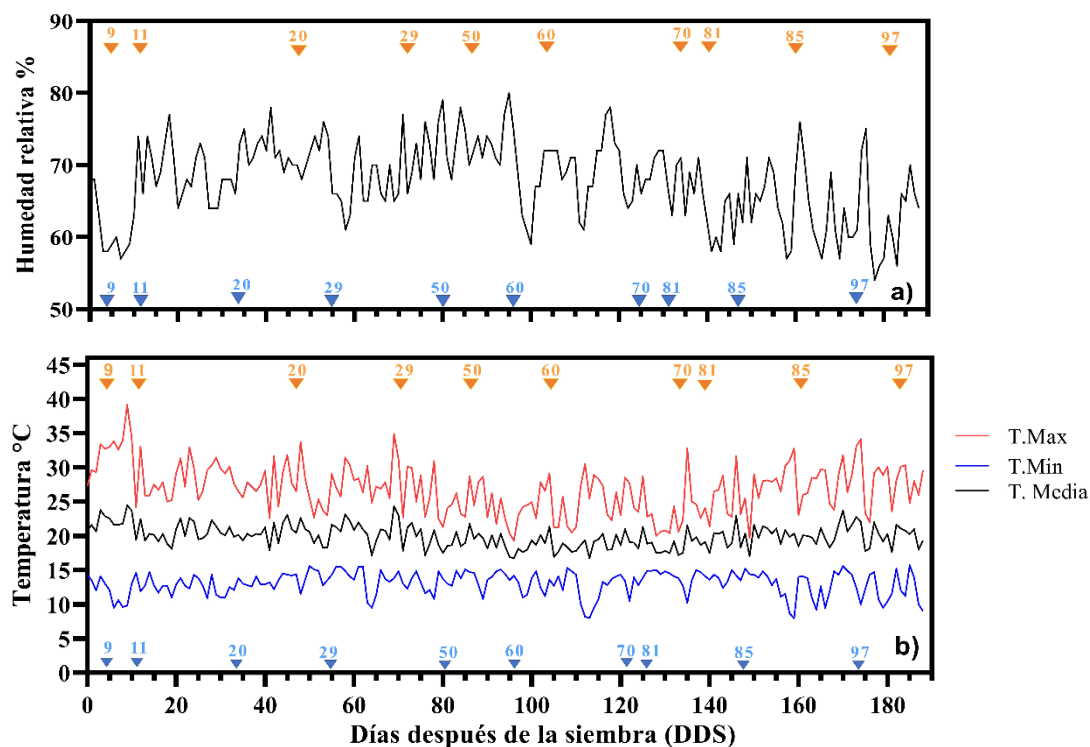


Figura 3. Comportamiento de la humedad relativa (a) y temperatura (b) durante la temporada de crecimiento y desarrollo de la quinua; HR: humedad relativa; DDS: días después de la siembra; triángulos azules con códigos en la parte inferior representa la fenología del método de siembra a chorro continuo y triángulos de color tomate con los códigos en la parte superior indican la fenología del método de siembra trasplante. Códigos BBCH: 9 (germinación); 11 (primer par de hojas verdaderas); 20 (Desarrollo de hojas); 29 (formación de tallos laterales); 50 (emergencia de la inflorescencia); 60 (Floración); 70 (desarrollo del fruto); 81 (grano lechoso); 85 (grano pastoso); 97 (senescencia).

En la Figura 4, se observa el esquema de la fenología BBCH de la quinua para el método de siembra a chorro continuo y trasplante en función de los DDS desde la emergencia hasta la senescencia del cultivo. La germinación (BBCH 9) surgió a los 4 DDS, el desarrollo de las hojas (BBCH 11) fue a partir del 11 DDS hasta los 34 DDS para el método de siembra a chorro continuo. Sin embargo, para el método de siembra trasplante existió un retraso de 13 días en el desarrollo de las hojas (BBCH 11) respecto a chorro continuo. La emergencia de la inflorescencia (BBCH 50) para el sistema de siembra a chorro continuo y trasplante comenzó el día 80 y 86 DDS, respectivamente. La floración (BBCH 60) para a chorro continuo inicio a los 96 DDS y en el caso del trasplante a los 104 DDS.

El desarrollo del fruto (BBCH 70) para el método a chorro continuo se presentó a los 121 DDS y para el método trasplante a los 134 DDS, y los subestadios grano lechoso (BBCH 81), pastoso (BBCH 85) se presentó a los 126, 147 DDS para a chorro continuo y a los 139, 160 DDS para trasplante, respectivamente. Finalmente, se observó la senescencia a los 174 DDS a chorro continuo y trasplante a los 181 DDS.

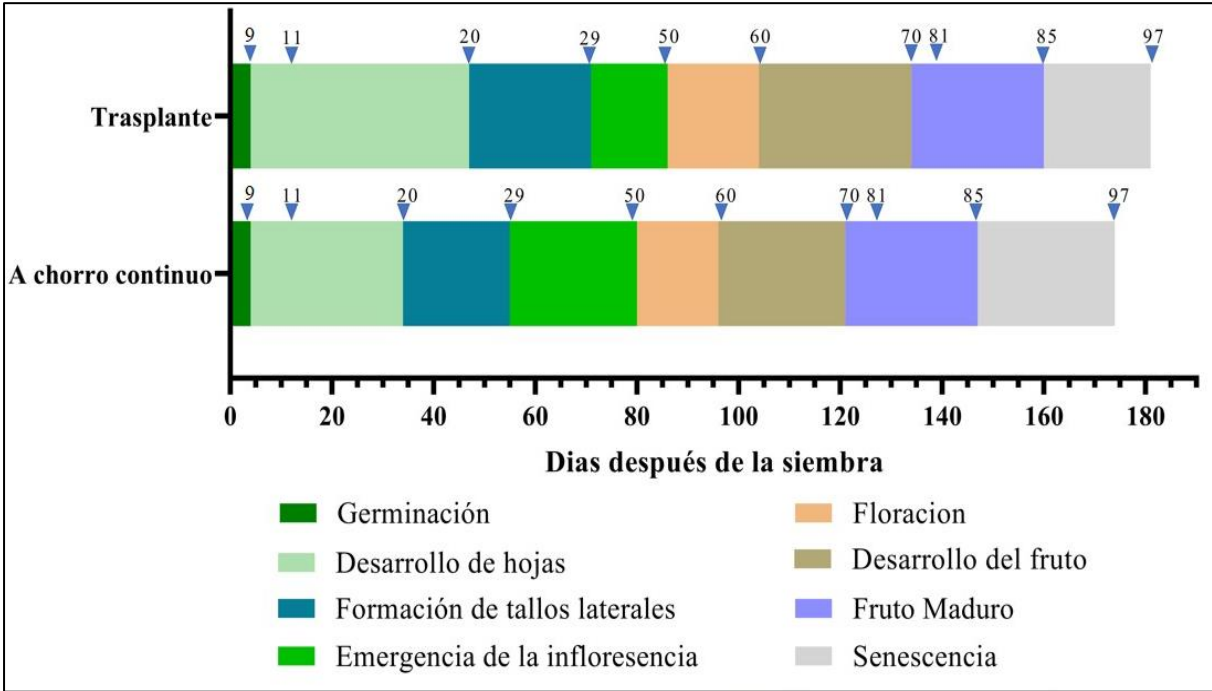


Figura 4. Fenología del cultivo de quinua del factor método de siembra a chorro continuo y trasplante, en función de los días después de la siembra (DDS). Las barras de colores y triángulos de color azul y tomate muestran la fenología según la escala BBCH desde la emergencia hasta la senescencia. Códigos BBCH: 9 (germinación); 11 (primer par de hojas verdaderas); 20 (Desarrollo de hojas); 29 (formación de tallos laterales); 50 (emergencia de la inflorescencia); 60 (Floración); 70 (desarrollo del fruto); 81 (grano lechoso); 85 (grano pastoso); 97 (senescencia).

4.11. Altura de planta

La variable altura de la planta no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas. El valor mínimo se observó en el tratamiento trasplante * 20 plantas m⁻² (T4) y el tratamiento que alcanzó la máxima altura fue a chorro continuo * 8 plantas m⁻² (T6) (Figura 5). Sin embargo, hubo un efecto altamente significativo (P-valor = < 0,0001; p-valor; < 0,01) del método de establecimiento del cultivo, siendo la siembra a chorro continuo con el que se obtuvo el mejor resultado con una altura promedio de 265,33 cm, mientras que trasplante alcanzó una altura promedio de 245,56 cm (Figura 6) (Anexo 3).

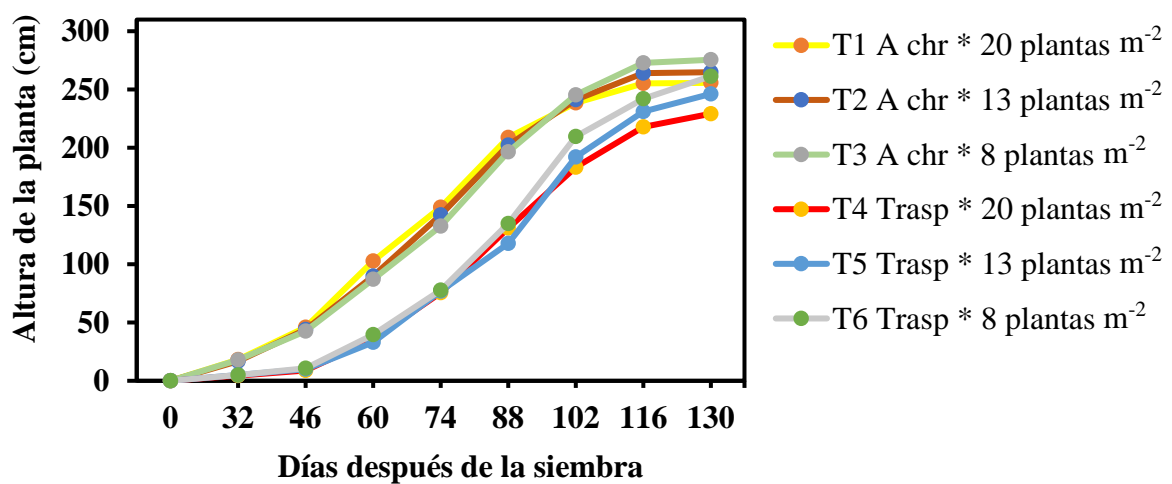


Figura 5. Curva del crecimiento de la altura de la planta (cm) obtenida en cada uno de los tratamientos del cultivo de quinua desde el día 32 hasta el día 130. A chr: a chorro continuo; Trasp: trasplante. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**)

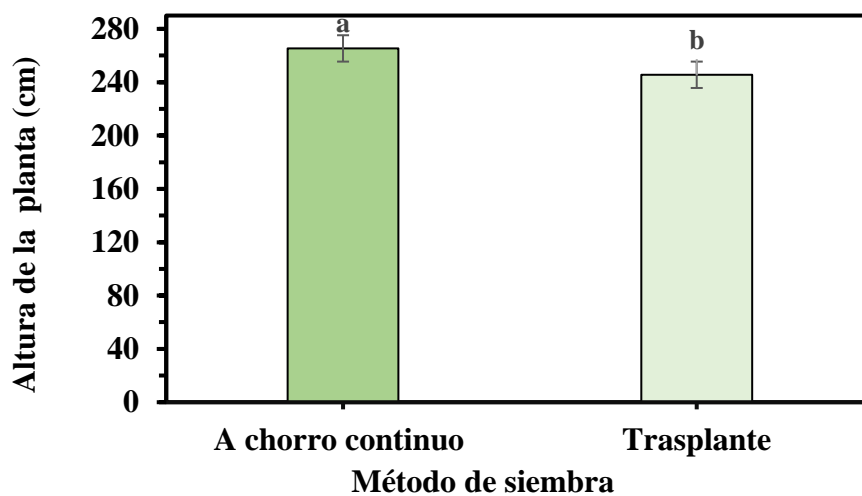


Figura 6. Efecto del factor método de siembra en la altura de planta del cultivo de quinua. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

4.12. Diámetro del tallo

En relación al diámetro del tallo, se evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos en las últimas evaluaciones, los días 116 (P-valor = 0,0452; p-valor < 0,05) y 130 (P-valor = 0,0416; p-valor < 0,05), siendo el Trasplante * 8 plantas m⁻² (T6) el que presentó el diámetro más alto con un valor de 1,37 cm (Figura 7) (Anexo 4).

En los días previos, se observó un efecto significativo desde el día 32 (P-valor = 0,0001; p-valor < 0,001) al día 74 (P-valor = 0,0196; p-valor < 0,05) del factor método de siembra sobre el diámetro (Anexo 5). Sin embargo, desde el día 88 (P-valor = 0,0021; p-valor < 0,05) hasta el día 102 (P-valor = 0,0011; p-valor < 0,001) se presentó un efecto significativo del factor densidad de siembra, evidenciándose el mejor diámetro en la densidad de 8 plantas m⁻² con 1,30 cm (Anexo 6).

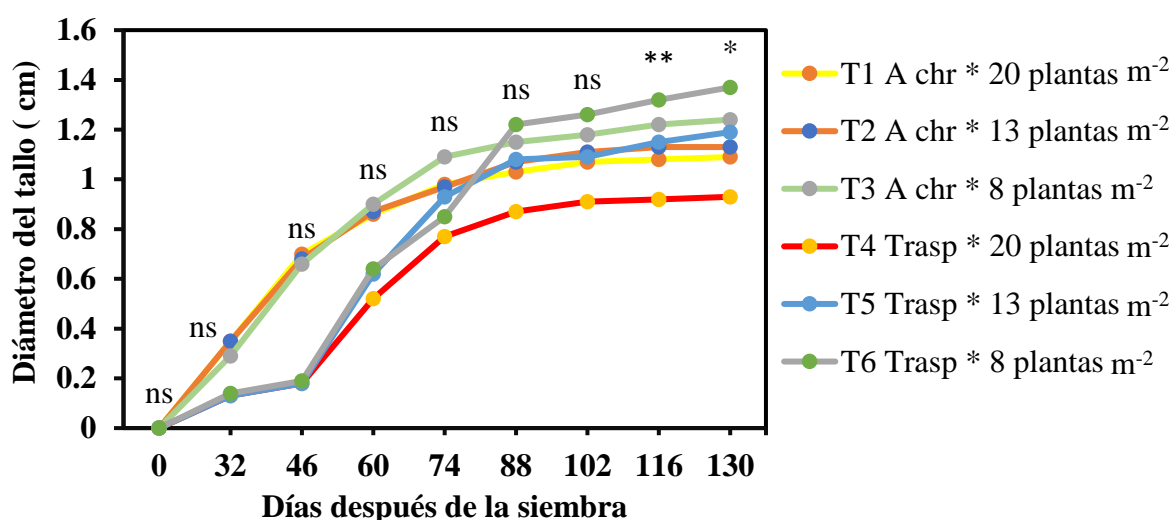


Figura 7. Curva de crecimiento del diámetro del tallo obtenida desde el día 32 hasta el día 130 en cada uno de los tratamientos del cultivo de quinua. A chr: a chorro continuo; Trasp: trasplante. Efecto no significativo (ns); efecto significativo p<0,05(*); efecto significativo p<0,01(**)

4.13. Biomasa en inicio de floración

No se encontró un efecto significativo entre los tratamientos en la evaluación de la biomasa en inicio de antesis (Tabla 4). Sin embargo, se observó un efecto estadísticamente significativo del factor densidad de siembra (P-valor = 0,0169; p-valor < 0,05) (Figura 8), siendo la densidad 20 plantas m⁻² la que obtuvo una mayor cantidad de biomasa con 450,33 gramos (g) m⁻², mientras que la densidad 8 plantas m⁻² obtuvo la menor biomasa con 273,47 g m⁻².

Tabla 5. Biomasa en inicio de floración (g m^{-2}) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.

Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (plantas m^{-2})	Biomasa en inicios de floración (g m^{-2})
A chorro continuo	20	438,00
	13	344,07
	8	308,53
Trasplante	20	462,67
	13	287,30
	8	238,40
E-E		53,15
P-valor	Método de siembra (A)	0,4475
	Densidad de siembra (B)	0,0153(**)
	A* B	0,6384

P-valor < 0,05 indican diferencias significativas del factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A) * Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

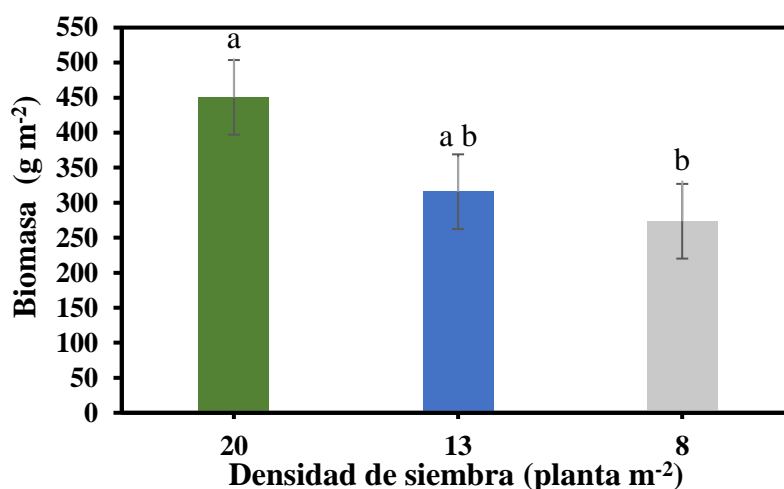


Figura 8. Efecto del factor densidad de siembra en la biomasa en inicio de floración (g m^{-2}) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

4.14. Índice de área foliar

El índice de área foliar no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Figura 9). Sin embargo, hubo un efecto significativo del factor método de siembra (P-valor = 0,01; p-valor < 0,01) en los días 60, 74, 102 y 116, observándose los valores más altos en el método de siembra a chorro continuo con 1,36 IAF en la etapa de floración y el más bajo en el trasplante con 1,07 IAF (Figura 10). Para el factor densidad de siembra presentó diferencias significativas en los días 60 (P-valor = 0,0046; p-valor < 0,01) y 74 (P-valor = 0,02; p-valor < 0,05) presentando el mejor promedio en la densidad de 20 plantas m^{-2} con 1,18 de IAF (Figura 11).

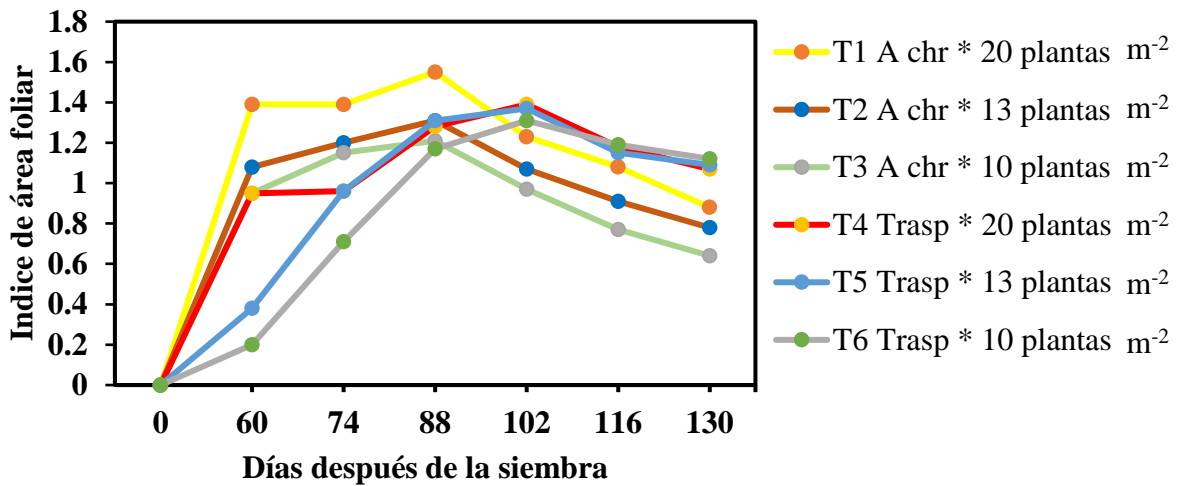


Figura 9. Curva de crecimiento del índice de área foliar obtenida desde el día 32 hasta el día 130 en función de los tratamientos del cultivo de quinua. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**)

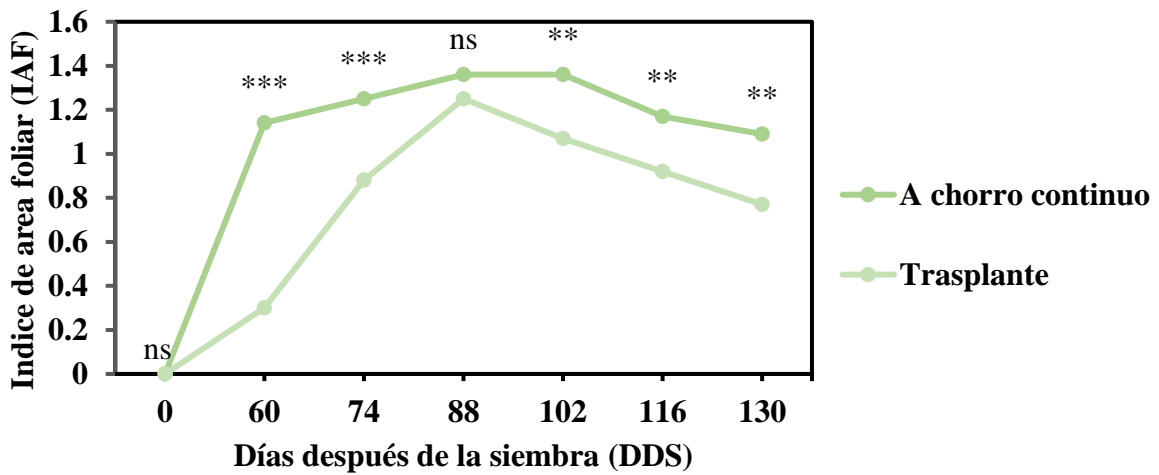


Figura 10. Efecto del factor método de siembra en el índice de área foliar del cultivo de quinua. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**).

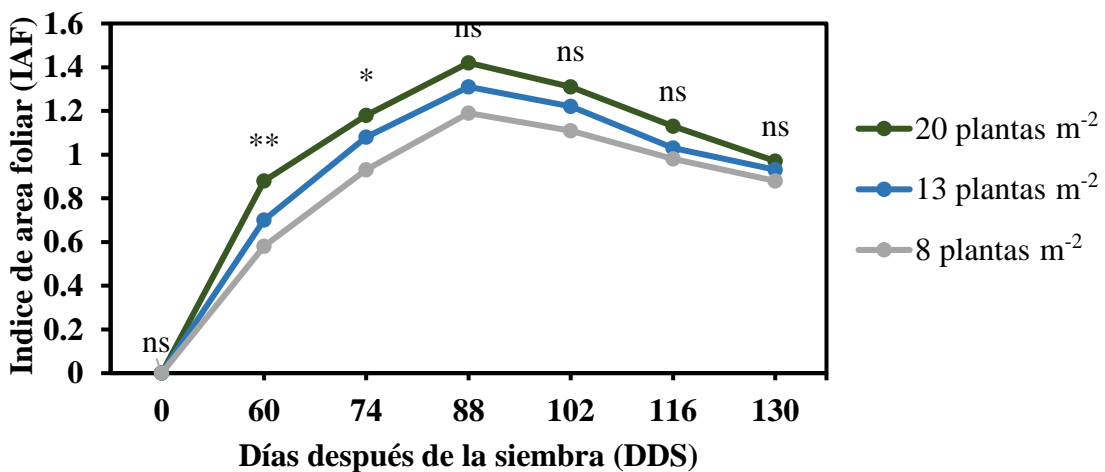


Figura 11. Efecto del factor densidad de siembra en el índice de área foliar del cultivo de quinua. Efecto no significativo (ns); efecto significativo $p < 0,05$ (*); efecto significativo $p < 0,01$ (**).

4.15. Longitud de la panoja

No se encontró un efecto estadísticamente significativo entre los tratamientos (Tabla 6), pero sí se observó un efecto significativo (P-valor = 0,0082; p-valor < 0,01) del factor densidad de siembra, presentando la mejor longitud en la densidad de 8 plantas m⁻² con 77,79 cm, y el menor valor se encontró en la densidad de 20 plantas m⁻² con 63,45 cm (Figura 12).

Tabla 6. Longitud de la panoja principal (cm), en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.

Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (plantas m ⁻²)	Longitud de la panoja principal (cm)
A chorro continuo	20	63,45
	13	66,94
	8	76,59
Trasplante	20	65,78
	13	71,22
	8	79,00
E-E		3,49
P-valor	Método de siembra (A)	0,3121
	Densidad de siembra (B)	0,0082 (**)
	A* B	0,9517

P-valor < 0,05 indican diferencias significativas del factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A) * Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05)

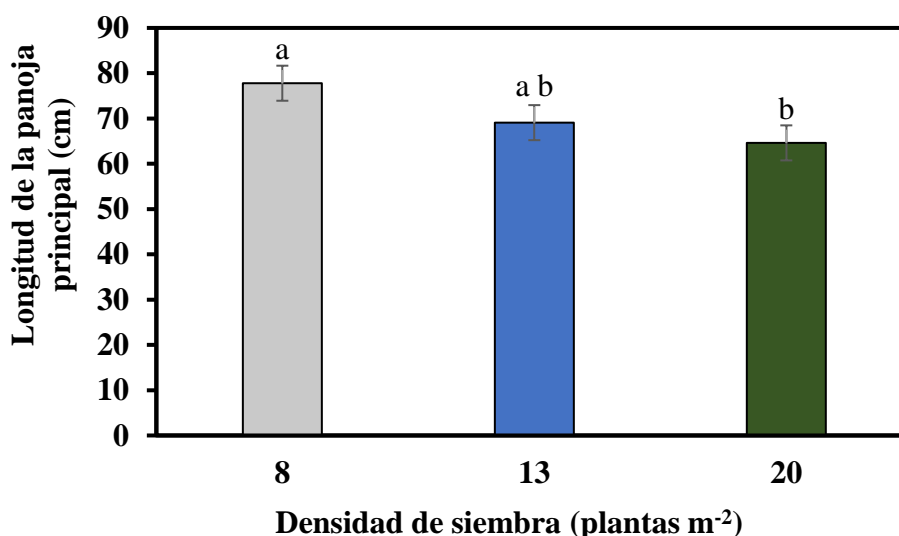


Figura 12 Efecto del factor densidad de siembra en la longitud de la panoja principal (cm) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey (p<0,05)

4.16. Peso de la panoja

De acuerdo al análisis de varianza no se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 7). Sin embargo, el factor densidad de siembra si influyó en el peso de la panoja principal (P-valor = 0,0263; p-valor < 0,05). La densidad de 20 plantas m⁻² presentó el menor peso de la panoja con un valor de 24,48 g, a diferencia de la densidad de siembra 8 plantas m⁻² que alcanzó un mayor peso con 34,06 g (Figura 13).

Tabla 7. Peso de la panoja principal (g), en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.

Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (plantas m ⁻²)	Peso de la panoja principal (g)
A chorro continuo	20	25,01
	13	25,22
	8	40,07
Trasplante	20	23,94
	13	28,17
	8	28,05
E-E		4,78
P-valor	Método de siembra (A)	0,1465
	Densidad de siembra (B)	0,0263 (*)
	A* B	0,1126

P-valor < 0,05 indican diferencias significativas del factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A) * Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05)

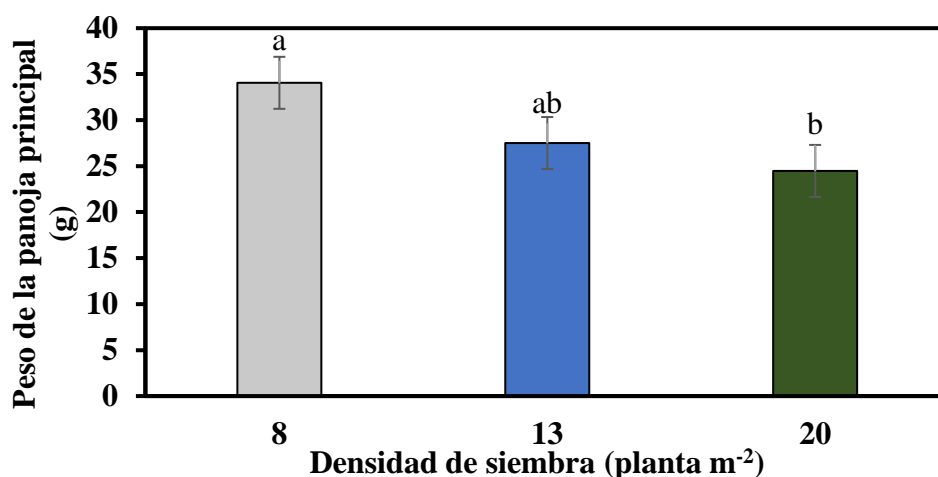


Figura 13. Efecto del factor densidad de siembra en el peso de la panoja principal (cm) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey (p<0,05)

4.17. Biomasa en cosecha

Como se muestra en la Tabla 8, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas de los tratamientos. Pero se observó un efecto del factor densidad de siembra (P-valor = 0,0379; p-valor < 0,05), donde la densidad de 20 plantas m⁻² presentó la mayor cantidad biomasa con 1 317,1 g en comparación a la densidad de 8 plantas m⁻² que obtuvo el menor valor con 955,6 g (Figura 14).

Tabla 8. Biomasa en cosecha (g m⁻²) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.

Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (plantas m ⁻²)	Biomasa en cosecha (g m ⁻²)
A chorro continuo	20	1 321,53
	13	1 312,67
	8	1 110,92
Trasplante	20	1 104,92
	13	977,96
	8	933,24
E-E		123,02
P-valor	Método de siembra (A)	0,9227
	Densidad de siembra (B)	0,0379 (*)
	A* B	0,9705

P-valor < 0,05 indican diferencias significativas del factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A) * Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05)

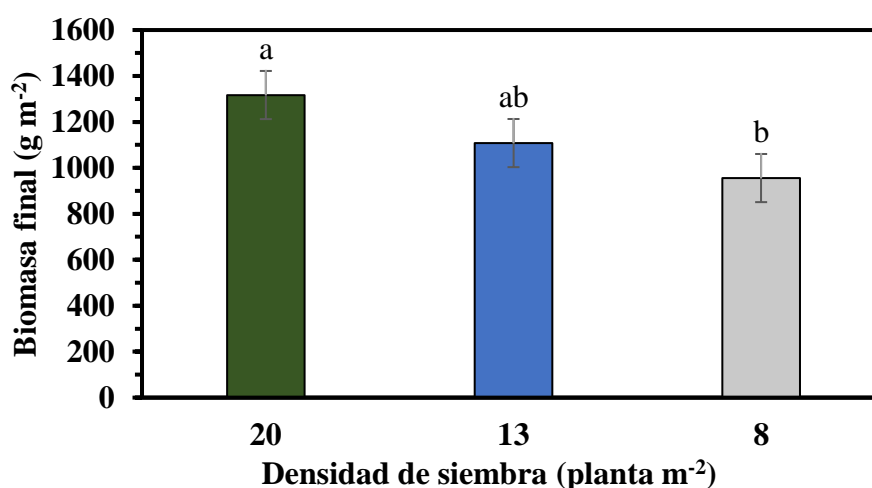


Figura 14. Efecto del factor densidad de siembra en la biomasa en cosecha (g m⁻²) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey (p<0,05).

4.18. Número de granos por planta

El número de granos por planta no presentó diferencias significativas de los tratamientos (Tabla 9). Sin embargo, el factor densidad de siembra mostró diferencias significativas (P-valor= 0,0001; p-valor < 0,001). Presentando la densidad 8 plantas m⁻² una mayor cantidad de granos, seguido de la densidad de 13 plantas m⁻² y 20 plantas m⁻² con 41 459,17, 28 553,33, 23 013,5 granos respectivamente (Figura 15).

Tabla 9. Número de granos (planta⁻¹) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.

Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (plantas m ⁻²)	Número de granos (planta ⁻¹)
A chorro continuo	20	23 546,33
	13	29 561,67
	8	39 606,33
Trasplante	20	22 480,67
	13	27 545,00
	8	43 312,00
E-E		2 654, 21
P-valor	Método de siembra (A)	0,9252
	Densidad de siembra (B)	0,0001 (***)
	A* B	0,5311

P-valor < 0,05 indican diferencias significativas del factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A) * Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05)

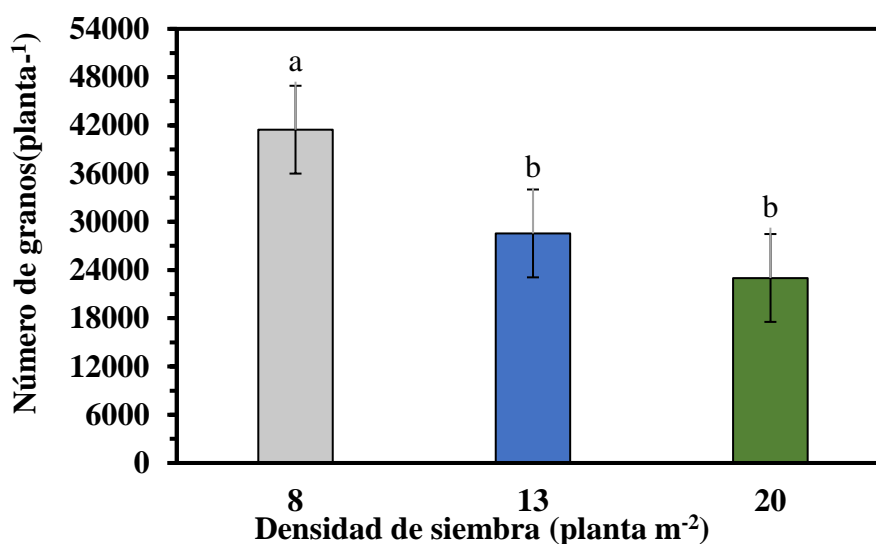


Figura 15. Efecto del factor densidad de siembra en el número de granos (planta⁻¹) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey (p<0,05).

4.19. Número de granos m⁻²

En la (Tabla 10), se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se encontró un efecto significativo del factor densidad de siembra (P-valor = 0,0209; p-valor < 0,05). La densidad de 20 plantas presentó una mayor cantidad de número de granos con 151766,33, mientras que la densidad de 8 plantas m⁻² obtuvo la menor cantidad de granos con 110557,67 (Figura 16).

Tabla 10. Número de granos (m⁻²) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.

Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (plantas m ⁻²)	Número de granos por m ⁻²
A chorro continuo	20	153 660,33
	13	128 099,33
	8	105 616,67
Trasplante	20	149 872,33
	13	119 363,00
	8	115 498,67
E-E		12 775,23
P-valor	Método de siembra (A)	0,9341
	Densidad de siembra (B)	0,0209 (*)
	A* B	0,7570

P-valor < 0,05 indican diferencias significativas del factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A) * Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05).

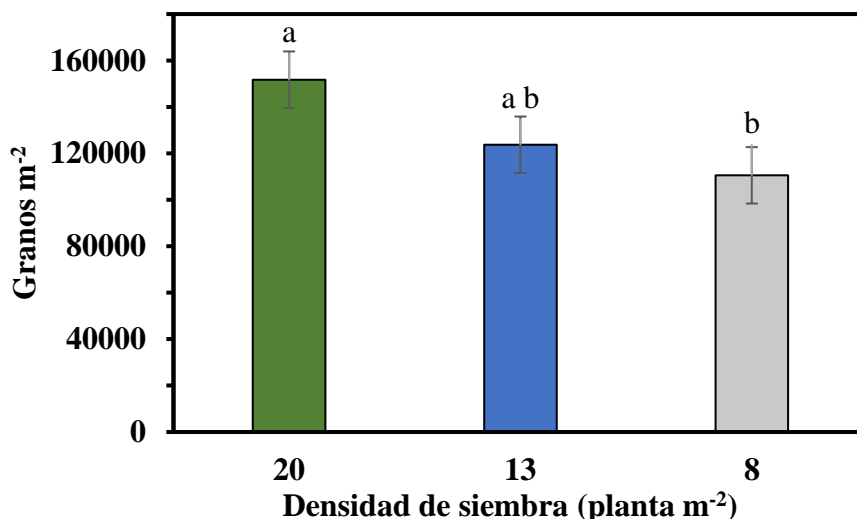
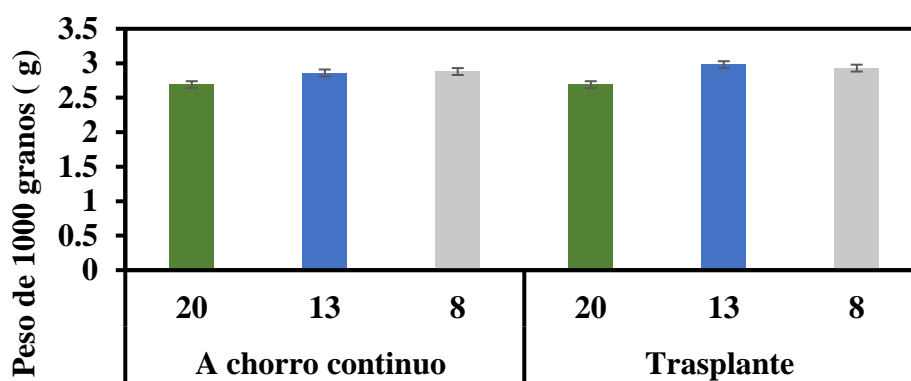


Figura 16. Efecto del factor densidad de siembra en el número de granos (m⁻²) del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey (p<0,05).

4.20. Peso de 1000 granos

En el análisis estadístico no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. No obstante, el peso máximo alcanzó de 2,93 g para trasplante * 8 plantas m⁻² (T6), seguido del tratamiento trasplante * 13 plantas m⁻² con 2,98 g (Figura 17).



Método de siembra* densidad de siembra (Planta m⁻²)

Figura 17. Efecto del factor densidad de siembra en el peso de 1000 granos (g), del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

4.21. Rendimiento

En cuanto a esta variable no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 11). Sin embargo, hubo un efecto significativo (P -valor= 0,0366; $P < 0,05$) para el factor densidad. Presentando el rendimiento más alto en la densidad 20 plantas m⁻² con 4,05 t ha⁻¹, mientras que en la densidad de 8 plantas m⁻² se encontró el menor rendimiento con 3,19 t ha⁻¹ (Figura 18).

Tabla 11. Rendimiento (t ha⁻¹) en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.

Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (Planta m ⁻²)	Rendimiento t ha ⁻¹
A chorro continuo	20	4,11
	13	3,57
	8	3,01
Trasplante	20	4,00
	13	3,55
	8	3,36
E-E		4,11
P-valor	Método de siembra (A)	0,7573
	Densidad de siembra (B)	0,0366 (*)
	A* B	0,7065

P -valor $< 0,05$ indican diferencias significativas del factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A) * Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

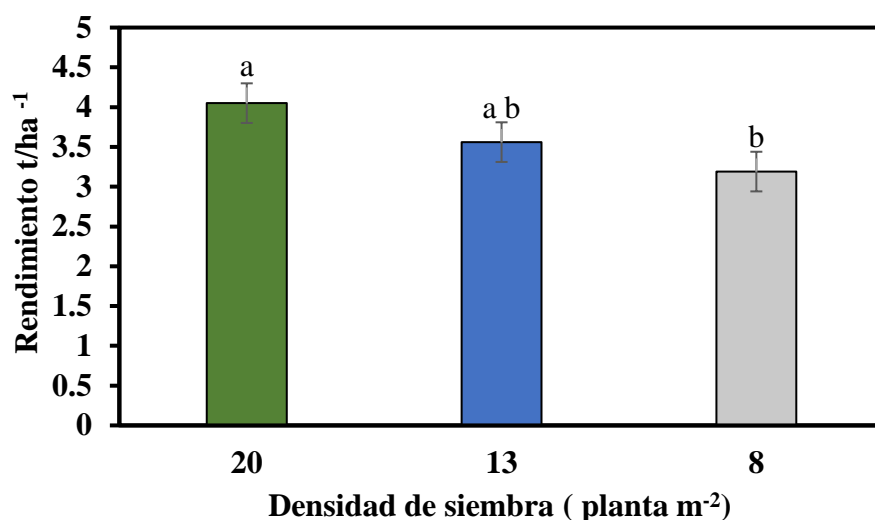


Figura 18. Efecto del factor densidad de siembra en el rendimiento del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

4.22. Índice de cosecha

Mediante el análisis estadístico no se observó diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, el índice de cosecha (IC) fue similar entre los tratamientos, no obstante, se observó un mejor IC en el método de siembra trasplante * 8 plantas m⁻² con 0,39 (Tabla 12).

Tabla 12. Índice de cosecha en función de la aplicación de los diferentes tratamientos en el cultivo de quinua.

Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (Planta m ⁻²)	Índice de cosecha
A chorro continuo	20	0,32
	13	0,33
	8	0,32
Trasplante	20	0,32
	13	0,32
	8	0,39
E-E		0,03
P-valor	Método de siembra (A)	0,4408
	Densidad de siembra (B)	0,3871
	A* B	0,3202

P-valor $< 0,05$ indican diferencias significativas del factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A) * Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$)

4.23. Análisis de correlación de las variables

En la Tabla 13. Se puede observar una correlación positiva significativa del diámetro del tallo (cm) con la biomasa en cosecha (g planta^{-1}) ($r= 0,90$; $p<0,01$), la longitud de la panoja (cm) ($r= 0,86$; $p<0,02$) y número de granos (planta^{-1}) ($r= 0,89$ $p<0,01$). En cambio, la altura de la planta (cm) presentó una correlación negativa con la biomasa en cosecha (g m^{-2}). Mientras que el índice de área foliar (IAF) no presentó ningún tipo de correlación significativa, de igual forma la biomasa en cosecha (g m^{-2}). En cuanto a la biomasa en inicio de floración (g m^{-2}) mostró una correlación negativa con la biomasa en cosecha (g planta^{-1}) ($r= -0,88$; $p<0,002$), número de granos (planta^{-1}) ($r= -0,85$; $p<0,03$), peso de 1000 granos (g) ($r= -0,93$; $p<0,01$) y una correlación positiva con el rendimiento (t ha^{-1}) ($r= 0,85$; $p<0,05$). Por otro lado, la biomasa en cosecha (g planta^{-1}) se asoció positivamente con la longitud de la panoja (cm) ($r= 0,97$; $p<0,001$), número de granos (planta^{-1}) ($r= 0,99$; $p<0,001$) y una correlación negativa con el rendimiento (t ha^{-1}) ($r= -0,91$; $p<0,01$). Así mismo, el peso de la panoja principal (g) se correlacionó negativamente con el número de granos (m^{-2}) ($r= 0,98$; $p<0,001$), rendimiento (t ha^{-1}) ($r= -0,87$; $p<0,02$). De igual manera la longitud de la panoja (cm) presentó correlación negativa con el número de granos (m^{-2}) ($r= -0,97$; $p<0,001$), Índice de cosecha (IC) ($r= -0,85$; $p<0,03$) y una correlación positiva con el número de granos (planta^{-1}) ($r= 0,94$; $p<0,01$). Además, el número de granos (planta^{-1}), mostró una correlación positiva con el índice de área foliar (IAF) ($r= 0,79$; $p<0,05$), pero con el rendimiento (t ha^{-1}) presentó una correlación negativa ($r= -0,86$; $p< 0,02$). Mientras que el peso de 1000 granos (g) no evidenció ningún tipo de correlación, finalmente el número de granos (m^{-2}) con el rendimiento (t ha^{-1}) presentó una correlación significativa ($r= 0,88$; $p<0,02$).

Tabla 13. Correlación de Pearson de las variables cuantitativas evaluadas en el cultivo de quinua.

Variables	Altura(cm)	Diámetro de tallo (cm)	Índice de área foliar (IAF)	Biomasa en inicio de floración (g m ⁻²)	Biomasa en cosecha (g planta ⁻¹)	Biomasa en cosecha (g m ⁻²)	Peso de la panoja principal (g)	Longitud de la panoja principal (cm)	Nro. granos (planta ⁻¹)	Nro. granos (m ⁻²)	Peso de 1000 granos (g)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Altura (cm)	1											
Diámetro del tallo (cm)	0,68 ns	1										
Índice de área foliar (IAF)	-0,56 ns	0,13 ns	1									
Biomasa en inicio de floración (g m ⁻²)	-0,54 ns	-0,94 ns	-0,12 ns	1								
Biomasa en cosecha (g planta ⁻¹)	0,68 ns	0,90 **	-0,04 ns	-0,88 *	1							
Biomasa en cosecha (g m ⁻²)	-0,83 *	-0,81*	0,24 ns	0,71 ns	-0,59 ns	1						
Peso de la panoja principal (g)	0,72 ns	0,50 ns	-0,59 ns	-0,49 ns	0,70 ns	-0,47 ns	1					
Longitud de la panoja principal (cm).	0,50 ns	0,86 *	0,12 ns	-0,89 **	0,97 ***	-0,47 ns	0,65 ns	1				
Nro. granos (planta ⁻¹)	0,69 ns	0,89**	0,01 ns	-0,85 *	0,99***	-0,58 ns	0,65 ns	0,94 **	1			
Nro. granos (m ⁻²)	-0,30 ns	-0,52 ns	0,16 ns	0,70 ns	-0,78 ns	0,18 ns	-0,68 ns	-0,83 *	-0,71 ns	1		
Peso de 1000 granos (g)	0,41 ns	0,78 ns	0,01 ns	-0,93 **	0,71 ns	-0,66 ns	0,44 ns	0,74 ns	0,64 ns	-0,71 ns	1	
Rendimiento (t ha ⁻¹)	-0,71 ns	-0,75 ns	0,37 ns	0,81 *	-0,91 **	0,58 ns	-0,87 **	-0,87 *	-0,86 *	0,88 *	-0,76 ns	1
Índice de cosecha	0,31 ns	0,76 ns	0,51 ns	-0,68 ns	0,74 ns	-0,32 ns	0,07 ns	0,73 ns	0,79 *	-0,37 ns	0,42 ns	-0,40 ns

Ns; efecto no significativo; *: efecto significativo < 0,05; **: efecto significativo < 0,01; ***: Efecto significativo <0,001

7. Discusión

En este estudio al evaluar las variables de crecimiento como la altura, diámetro del tallo e índice de área foliar, a lo largo del desarrollo del cultivo se observó que en las primeras evaluaciones el método de siembra trasplante presentó los menores promedios, en comparación con el método de siembra directa, debido a que las plantas presentaron un menor crecimiento cuando se realizó el trasplante. Dao et al. (2020) menciona que al momento de esta labor sufre lesiones mecánicas en el sistema radicular, lo que resulta en una lenta regeneración y adaptación a las nuevas condiciones del suelo, sin embargo, los resultados del método de trasplante en algunas de las variables terminaron siendo mejores a partir del día 88, concordando con lo mencionado por Montes-Rojas et al. (2018), quienes destacan que a pesar de presentar estrés en el sistema radical en las plantas trasplantadas, con el pasar del tiempo le permite a la planta adaptarse y recuperarse rápidamente.

Las condiciones climáticas para el desarrollo del cultivo contaron con una temperatura media de 16,75 a 24,45 °C, el cual se ajusta a lo mencionado por Sosa et al. (2017) la quinua crece en la región andina con temperaturas medias entre 10 y 25 °C, sin embargo, Pinto (2013) menciona que la temperatura media adecuada para la quinua está alrededor de 15-20 °C. En cuanto a la máxima temperatura fue de 19,3 a 34,8 °C, temperaturas similares a los registrados por Bustamante (2018) de 20,2 °C a 34,0 °C, en su estudio del cultivo de quinua. Además, en nuestro estudio se encontró una temperatura máxima que sobrepasa el rango óptimo para el buen desarrollo del cultivo, dándose en la etapa fenológica primer par de hojas verdaderas (BBCH 11) con 39,1 °C, referente a la temperatura baja fue en el día, 113 y 159 DDS con 8 y 7 °C en el desarrollo de fruto (BBCH 70) y grano pastoso (BBCH 85) tanto para el método de siembra trasplante y a chorro continuo respectivamente, ante ello Pinto (2013) menciona, que esta planta también posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas, llegando a soportar hasta menos 8 °C en determinadas etapas fenológicas, siendo la más tolerante la ramificación y las más susceptibles la floración y llenado de grano, con respecto a esto Roqueiro et al. (2020) señala que estas etapas sensibles la de floración y llenado de grano, puede sufrir daño cuando llegan a los -1°C. Por otro lado la humedad relativa el más alto se encontró en el día 95 DDS con 80 % (inicio y final de la floración) y la HR baja a los 178 DDS con 54 % en la senescencia (BBCH 97) para a chorro continuo y trasplante respectivamente, esto concuerda con lo citado por León-Lobos et al. (2019) sobre el cultivo de quinua puede crecer desde lugares secos a ambientes húmedos con 80 % de humedad relativa, incluso en los altiplanos la planta de quinua puede adaptarse de 40 % hasta el 100 % de humedad relativa.

Con respecto a la fenología se determinó una duración de 174 días para el método siembra directa a chorro continuo, mientras que la fenología del sistema de siembra trasplante presentó 181 días para cumplir su ciclo fenológico. Según Murillo (2023) la variedad INIAP Tunkahuan el cual se adapta a diferentes ambientes de la Sierra ecuatoriana, su madurez fisiológica alcanza desde 150 a 210 días, rango al que se ajusta nuestro estudio, por otro lado, Rana et al. (2014) en su investigación con el cultivo de arroz determinó que el trasplante requirió más tiempo para su madurez, que el cultivado con siembra directa de semillas secas, por lo tanto, la duración del crecimiento del cultivo se redujo notablemente en el cultivo de quinua sembrada directamente, lo que podría deberse a la ausencia del shock del trasplante.

La variable altura presentó diferencias estadísticamente significativas para el factor método de siembra, siendo a chorro continuo con el que obtuvo mayor altura de 265,33 cm, a diferencia del trasplante donde se dio el menor valor de 245,56 cm. Estos resultados tienen el mismo comportamiento a los obtenidos por Flores y Rodas (2018) quienes evidenciaron el mayor valor de altura para el método de siembra directa con 91,48 cm, mientras que para trasplante encontraron una menor altura de 69,96 cm. De manera similar Jiménez Esparza et al. (2018) en cultivo de amaranto obtuvieron la mayor altura para el método de siembra a chorro continuo con 181 cm y el valor más bajo fue trasplante con 141 cm. De igual forma Ludvigson et al. (2019) en su estudio con la variedad Titicaca el método de siembra directa presentó el valor más alto (82 cm), además mencionan que los hábitos de crecimiento que presenta en los diferentes métodos de siembra difieren, es decir la quinua trasplantada tiende a sufrir tasas más altas de ramificación y permanece más corta que las plantas sembradas directamente, que experimentaron tasas más bajas de ramificación y crecieron a mayor altura. Esto puede atribuirse a que la quinua trasplantada reparte los recursos de manera diferente a la quinua sembrada directamente, lo que atribuye que los trasplantes dedican más nutrientes a fines reproductivos, lo que equivale a una mayor producción de semillas/frutos. Por tanto, en la quinua, existiría una repartición de recursos de forma parcial como un aumento en la ramificación de la planta.

Para la variable diámetro del tallo se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos al finalizar la evaluación, evidenciándose que el tratamiento T6 (Trasplante * 8 plantas m⁻²) presentó un promedio de diámetro de 1,37 cm, mientras que los tratamientos T1 (a chorro continuo * 20 plantas m⁻²) y T4 (trasplante * 20 plantas m⁻²) presentaron los menores valores de 1,10 y 0,94 cm respectivamente. Estos resultados concuerdan con Erazzú et al. (2016) quienes informaron que el diámetro del tallo fue mayor en la densidad de siembra de 8 plantas m⁻² (2,2 cm) en comparación con la densidad de 20 plantas m⁻² (0,90). De lo antes

mencionado, parece ser que la densidad de siembra es la que más está afectando el crecimiento del diámetro, de hecho, hay distintos reportes donde a una mayor densidad genera menores diámetros y a densidades bajas las plantas presentan tallos más fuertes, además en densidades altas las plantas tienen menos ramas y los tallos son más delgados (Pourfarid et al., 2014; Chura et al., 2019; Zubillaga et al., 2020), sin embargo, no hay reportes de cómo están interactuando los dos factores, método de siembra por densidad de siembra en la morfología del cultivo de quinua.

Para la variable biomasa en inicio de floración (g), se obtuvieron efectos significativos del factor densidad de siembra, presentando la mayor biomasa en la densidad de 20 plantas m^{-2} (450,33 g) resultados que concuerdan a los adquiridos por Zubillaga et al. (2015) y Mena et al. (2018), en los que obtuvieron una mayor cantidad de biomasa conforme al incremento del número de plantas por hectárea, además Escalante-Estrada et al. (2008) en su estudio concluyeron que la producción de biomasa por planta se ve afectada negativamente al sembrar a una densidad alta, pero a la misma densidad se obtiene una mayor producción de biomasa por unidad de superficie. Ante esto Méndez (2002) describe que el número de hojas por planta y la altura de la misma, son variables influyentes sobre la materia seca de una planta.

En cuanto al índice de área foliar presentó un incremento en las etapas de crecimiento, luego hubo una disminución de manera paulatinamente cuando llegaron a la etapa reproductiva, debido a que la planta empieza a disminuir el IAF por la senescencia y caída de las hojas secas inferiores (Mendoza-Pérez et al., 2017). Este comportamiento se presentó en los dos factores analizados independientemente. El factor método de siembra presentó diferencias significativas, evidenciando los valores más altos a chorro continuo con 1,36 IAF en la etapa de floración, estos datos se adecúan con los resultados obtenidos por Sánchez del Castillo et al. (2006) y Sánchez et al. (2014) los cuales determinaron un mayor índice de área foliar para la siembra directa a diferencia de trasplante. En vista de que este tratamiento durante su crecimiento, las raíces presentaron restricción por el uso de bandejas con alvéolos pequeños lo que pudo afectar al crecimiento inicial de las raíces y aérea. Como lo mencionan Dao et al. (2020) la disminución del tamaño de las plantas también puede deberse al daño que sufren las raíces al realizarse el trasplante. Por otro lado, el IAF para el factor densidad de siembra en este estudio fue mayor en la densidad alta de 20 plantas m^{-2} , siendo corroborado por Law-Ogbomo y Ajayi (2009) las plantas de quinua cultivadas a una mayor densidad (111 111 plantas ha^{-1}) generan un mayor IAF, a diferencia de una densidad menor (65 000 plantas ha^{-1}). Sin embargo, a medida que este índice aumenta, las hojas de la parte inferior de las plantas se vuelven más

sombreadas, en consecuencia, la tasa fotosintética promedio por planta disminuye, siendo compensado por la población más densa, por presentar un mayor número de hojas por m^{-2} (Oliveira et al., 2018).

Respecto a la longitud de la panoja en nuestra investigación presentó una menor longitud en respuesta a la densidad de siembra, debido a que la mayor población de plantas dentro de los surcos evidenció las menores longitudes, resultados que concuerdan con Dao et al. (2020) quienes en su estudio realizado sobre los efectos de las diferentes técnicas de siembra y tasas de densidad de siembra con un conjunto de genotipos como Titicaca, Puno, Pasankalla y Negra Collana, determinaron una mayor longitud de la panoja en densidades de 80 000 plantas h^{-1} y viceversa bajo tasas de densidades altas. De igual manera Jbawi et al. (2022) informaron que existió aumentos graduales en la longitud de la panícula a densidades bajas, por lo cual en su estudio determinaron que en la interacción entre variedades y la densidad de plantas, la longitud de la panoja fue significativamente mayor para la variedad NSL con una densidad de 100 000 plantas ha^{-1} (42,6 cm), mientras que fue significativamente menor para la variedad Titicaca con una densidad de 333 333 plantas ha^{-1} (23,2 cm). Podemos ver que a mayor densidad de plantas tiene un efecto negativo en la longitud de la panoja, pudiendo ser la competencia que existe entre las plantas por los recursos disponibles (Luz, agua, nutrientes) ocasiona un menor desarrollo de este componente (Dao et al., 2020), además Morillo et al. (2021) mencionan que estos procesos están determinados por el genotipo, el tipo de inflorescencia (Las de tipo amarantiforme, presentan desventaja frente a las de tipo glomerulado, ya que el rendimiento en grano es menor) y las condiciones de fertilidad del suelo, agua y nutrientes.

El peso de la panoja principal disminuyó significativamente en función de la densidad de siembra, determinándose en este estudio los mejores pesos en las densidades de 8 plantas m^{-2} , esto coincide con los estudiados por Cruz et al. (2021) los cuales encontraron una ganancia en el peso de la panoja en densidades menores, en contraste con los valores de la densidad alta, ajustándose con lo mencionado por Sief et al. (2015) el cultivo con espacios más amplios proporciona a la planta mayor iluminación y menos competencia subterránea por los recursos, es por ello que la ramificación aumenta gradualmente conforme al incremento del espacio, de igual forma estos resultados coincidieron con Dao et al. (2020) en su estudio determinaron un amplio desarrollo del sistema de ramificación en tasas de densidad bajas de 80 000 plantas ha^{-1} en contraposición con la densidad alta.

Los resultados obtenidos para la biomasa en cosecha m^{-2} aumentó significativamente en función al número de plantas, obteniéndose una mayor biomasa en la densidad de 20 plantas m^{-2}

² y los menores en las densidades de 8 plantas m⁻² estos resultados concuerdan con los obtenidos por Zubillaga et al. (2015) quienes encontraron una mayor cantidad de biomasa en las densidades con mayor número de plantas, así mismo Lázaro-Rojas et al. (2023) en un estudio realizado en el cultivo de maíz destacan que este incremento en la biomasa ocurrió al usar densidades de siembras altas, ya que un mayor número de individuos, compensa la biomasa por unidad de superficie, de igual forma Jingang et al. (2019) determinaron el mismo comportamiento en el cultivo de girasol.

El número de granos por planta fue significativo, encontrándose un mayor número de granos en la densidad de 8 plantas m⁻², estos resultados concuerdan con Rabbani et al. (2020) los cuales encontraron un mayor número de semillas por planta (2085,77) en la densidad de 40 plantas m⁻², respecto a la densidad de 60 plantas m⁻² (1572,59). Además en nuestro estudio, encontramos una correlación positiva de Pearson, se encontró que el diámetro del tallo se correlacionó positivamente con la biomasa final g planta⁻¹, así mismo con la longitud de la panoja (cm), y número de granos planta⁻¹ (r = 0,89 p<0,01) (Tabla 13), esto se corrobora con las observaciones de campo que muestran que en condiciones de baja población, las plantas aumentan el diámetro de su tallo y su ramificación, y compensan el rendimiento de grano por planta (Spehar y Santos, 2005).

Los resultados del presente estudio sobre el número de granos m⁻² son estadísticamente mayores a una densidad alta de 20 plantas m⁻², esto concuerda con los mencionado por Gaso, (2018) el cual manifiesta que, en densidades bajas, donde no existe competencia entre plantas el número de ramas por planta aumenta, sin embargo, dicho aumento no compensa la falta de plantas por unidad de superficie, por lo que reduce este componente en densidades bajas.

El peso de 1000 semillas no fue influenciado al aumentar la densidad de plantas por m⁻², estos resultados se asemejan a los obtenidos por Nagib et al. (2020) en el cultivo de quinua, al igual que Jiménez et al. (2009) en el cultivo de arroz, dado que en sus estudios el peso de 1000 semillas no fue afectado por el número de plantas. Concordando con Spehar y Rocha (2009) y Satorre et al. (2003) en cultivo de quinua con respecto a las variaciones de la densidad de 100 000 a 600 000 plantas ha⁻¹, no afectaron el peso de 1000 semillas, ya que precisan que esta variable tiene un fuerte componente genético, aunque puede verse afectado por las condiciones climáticas. Spehar y Santos (2005) señala que puede ser la competencia entre plantas dentro de una hilera, en altas densidades, no fue lo suficientemente grande como para alterar las relaciones entre estos parámetros. Sin embargo, estos resultados difieren con los obtenidos por Hoang et al. (2021) quienes estudiaron cuatro genotipos (Cáhuil, Atlas, Moradas,

2-want) de quinua en dos temporadas, seca y lluviosa, en donde encontraron diferencias significativas a las mismas densidades estudiadas en el presente estudio, estando en concordancia con Meléndez et al. (2013) quienes manifiestan el peso de 1000 semillas a medida que se aumenta la densidad de población el peso de la semilla disminuye, por efecto de competencia entre plantas.

El rendimiento fue significativo con respecto al número de plantas por m^{-2} , presentando un mayor rendimiento en la densidad alta de 20 plantas m^{-2} , seguido de la densidad media de 13 plantas m^{-2} y 8 plantas m^{-2} a pesar que en esta densidad obtuvieron tallos más gruesos, panojas más grandes y pesadas no presentaron el mayor rendimiento, en tanto estos resultados tienen similitud a los obtenidos por Meléndez et al. (2013) en su estudio sobre el cultivo de avena en los que indicaron un mayor rendimiento en la densidad más alta, además menciona que a mayor densidad mayor rendimiento existirá, de igual forma Sayed et al. (2018) en sus resultados mostraron que el incremento en la densidad de siembra de plantas de 16 7000 a 56 000 plantas ha^{-1} condujo a un aumento significativo en un 34,7 % en el rendimiento de granos por unidad de superficie, por lo tanto, Zubillaga et al. (2020) en su estudio realizado en cultivo de amaranto menciona que el mayor número de plantas compensa el rendimiento del grano por hectárea. Relacionándose con nuestro estudio en el cual se encontró una correlación positiva del número de granos por m^{-2} con el rendimiento $t\ h^{-1}$ (Tabla 13). Por otro lado, el rendimiento en nuestra investigación fue 3,01 a 4,11 $t\ ha^{-1}$ con densidades de 8 plantas m^{-2} y 20 plantas m^{-2} respectivamente, superiores al rendimiento determinado en la variedad Tunkahuan de 1,26 a 1,48 $t\ ha^{-1}$ (Guerrero, 2016), esto concuerda a los mencionado por Sánchez-Monje et al. (2019); Sucasaca (2023) la quinua tiene una elevada plasticidad fenotípica es decir modifica su estructura a la disponibilidad de los recursos.

En cuanto al índice de cosecha no se detectó un efecto significativo entre las diferentes densidades, coincidiendo con los resultados obtenidos por Torres et al. (2006), en el cultivo de amaranto, donde el índice de cosecha a densidades de siembra de 62 500 y 375 000 plantas ha^{-1} no encontraron diferencias significativas de los diferentes tratamientos aplicados en los dos años estudiados, de igual manera Spehar y Rocha (2009) en el cultivo de quinua con densidades de 100 000 a 600 000 plantas ha^{-1} no evidenciaron un efecto de la densidad de siembra, además mencionan que esta respuesta al aumento de densidad tiene más que ver a que tal vez las densidades estudiadas no fueron lo suficientemente altas. Siendo así, Troiani (2010) señala que el incremento de IC, se debe al elevado número de granos por m^{-2} , y al tamaño del dosel vegetal.

8. Conclusiones

- El método de siembra influye en la duración del ciclo del cultivo de quinua.
- Se encontró un efecto entre los tratamientos, observándose un mayor crecimiento del diámetro del tallo en el sistema de siembra trasplante con una densidad de 8 plantas m^{-2} , con respecto a ello las plantas trasplantadas se mantuvieron más cortas en altura y en consecuencias generaron un aumento en el diámetro, al igual que aprovecharon los recursos de manera más eficiente con la disminución de la densidad de siembra, sin embargo, con el incremento de la densidad esta disminuyeron.
- Los factores método de siembra y densidad de siembra afectaron de manera independiente en las respuestas de las variables de crecimiento, altura, diámetro del tallo, índice del área foliar y biomasa, siendo a chorro continuo el que presentó los mejores resultados, con una densidad de siembra de 20 plantas m^{-2} . Sin embargo, el crecimiento diámetro del tallo incrementó a la disminución de plantas por m^{-2} , siendo el mejor en la densidad de 8 plantas m^{-2} .
- En cuanto a los parámetros de rendimiento del grano de quinua, los resultados indicaron un efecto del factor densidad de siembra, así se observó que la biomasa en inicio de floración (m^{-2}), biomasa en cosecha (m^{-2}), número de granos (m^{-2}), rendimiento $t\ ha^{-1}$ presentaron las mejores respuestas conforme al incremento de la densidad con 20 plantas m^{-2} , mientras que la longitud y peso de la panoja principal, número de granos $planta^{-1}$ mostraron los mejores resultados con la densidad baja de 8 plantas m^{-2} , con ello se puede mencionar que pese a que los promedios obtenidos por planta, en la mayor parte de las variables fueron en la densidad baja de 8 plantas m^{-2} no compensan el rendimiento del grano por hectárea.

9. Recomendaciones

- Para nuevas investigaciones, se recomienda ampliar la evaluación con otras variedades de quinua, para determinar el mejor método de siembra y densidades óptimas que contribuyan a un mejor rendimiento.
- Antes de efectuar la siembra se recomienda realizar prueba de germinación para obtener un mayor número de plantas por hectárea, además se debe realizar una buena distribución de las mismas, para un óptimo desarrollo y en lo posterior obtener un buen rendimiento.
- Al momento de realizar la siembra en bandejas, se recomienda colocarles en tendales, con la finalidad de evitar el ataque de plagas como las babosas que normalmente consumen las hojas y raíz de las plántulas.

10. Bibliografía

- Arenas, L. C. A., & Hernández, A. K. H. (2017). CALIDAD Y GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE QUINUA *Chenopodium quinoa* Willd. ALMACENADAS ARTESANALMENTE POR PRODUCTORES [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad De Ciencias Aplicadas Y Ambientales U.D.C.A.
- Asher, A., Dagan, R., Galili, S., & Rubinovich, L. (2022). Effect of Row Spacing on Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Growth, Yield, and Grain Quality under a Mediterranean Climate. *Agriculture*, 12(9), 1298. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091298>
- Bajío, H. (2021). La importancia de una densidad de siembra óptima – CIMMYT | IDP. La importancia de una densidad de siembra óptima. <https://idp.cimmyt.org/la-importancia-de-una-densidad-de-siembra-optima/>
- Barrios, C. S. (2015). PRUEBA DE RENDIMIENTO DE 18 CULTIVARES PROMISORIOS DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) EN SIEMBRA DE OTOÑO EN LA YARADA BAJA " LA ESPERANZA" -TACNA.[Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna]. http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/1801/745_2015_barrios_telleria_cs_fcag_agronomia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bazile, D., Bertero, D., & Nieto, C. (2014). ESTADO DEL ARTE DE LA QUINUA en el mundo en 2013. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2433/1/iniapscCD13.pdf>
- Bustamante, L. F. B. (2018). Aplicación de períodos de sequía controlada en cultivos de *Chenopodium quinoa* Willd. como estrategia agronómica para el incremento del contenido de proteínas en semillas. http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3059/4/Tesis_Aplicacion_de_periodos_de_sequiaImage.Marked.pdf
- Calla, J. C. (2013). MANEJO AGRONÓMICO DEL CULTIVO DE LA QUINUA (p. 40). <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/038-c-quinua.pdf>
- Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209-220. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>
- Cañete, A., Pedreros, A., Zurita, A., Muñoz, C., Avilés, C., Vera, C., Alfaro, C., Castillo, D., Raccoursier, J., León, L., Henríquez, L., Rodríguez, L., Quintana, R., & Fischer, S. (2021). Manual técnico para el manejo orgánico, convencional e industrial del cultivo

- de quínoa en la zona centro sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y la Universidad de Concepción. https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/148010/Manual_tecnico_para_el_manejo_organico_Quinoa_%20PYT-2017-0495.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Casas, N. (2016). Alternativas para la generación de valor agregado en los cultivos de mango y quinua. <https://www.uniagraria.edu.co/wp-content/uploads/2018/09/alternativas-para-la-generacion-de-valor-agregado-en-los-cultivos-de-mango-y-quinua.pdf>
- Çiftci, S. Ç., Zulkadir, G., Gökçe, M. S., Karaburu, E., Bozdağ, E., & İdikut, L. (2020). The Effect of Row Distances on Quinoa Yield and Yield Components in the Late Planting Period. *ResearchGate*, 1, 37-42. <https://www.researchgate.net/publication/343944426>
- Chito Trujillo, D. M., Ortega Bonilla, R. A., Ahumada Mamián, A. F., & Rosero López, B. (2017). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) versus soja (*Glycine max* [L.] Merr.) en la nutrición humana: Revisión sobre las características agroecológicas, de composición y tecnológicas. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(2), 184-198. <https://doi.org/10.14306/renhyd.21.2.256>
- Chura, J., Mendoza-Cortez, J. W., & de la Cruz, J. C. (2019). Dosis y fraccionamiento de nitrógeno en dos densidades de siembra del maíz amarillo duro. *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 241-248. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.09>
- Cruz Díaz, I., Chaparro, H. N., Díaz, L. I., Romero, G. A., Cruz Díaz, I., Chaparro, H. N., Díaz, L. I., & Romero, G. A. (2021). Effect of sowing density on the agronomic performance of Quinoa Nariño cultivar and the transmissivity of photosynthetically active radiation in the high tropics of Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(2), 9491-9497. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.90040>
- Dao, A., Alvar-BeltrÃ, J., Gnanda, A., Guira, A., Nebie, L., & Sanou, J. (2020). Effect of different planting techniques and sowing density rates on the development of quinoa. *African Journal of Agricultural Research*, 16(9), 1325-1333. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/CF34B0A64896>
- Eisa, S., Hussin, S., Ali, E., Ebrahim, M., González Sanchez, J., Ordano, M., Erazzú, L., El-Bordeny, N., & Abdel-Ati, A. (2018). Quinoa in Egypt-Plant Density Effects on Seed Yield and Nutritional Quality in Marginal Regions.
- Escalante-Estrada, L. E., Escalante-Estrada, Y. I., & Linzaga-Elizalde, C. (2008). DENSIDAD DE SIEMBRA DEL GIRASOL FORRAJERO. *AGRONOMÍA COSTARRICENSE*, 32(2), 177-182.

- Esprella, B. (2014). T-1644.pdf EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) CON LA APLICACIÓN DE NIVELES DE ABONO ORGÁNICO BAJO CONDICIONES DE RIEGO DEFICITARIO EN EL ALTIPLANO CENTRAL [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Mayor De San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/8085/T-1644.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Erazzú, L. E., González, J. A., Buedo, S. E., & Prado, F. E. (2016). Efectos de la densidad de siembra sobre *Chenopodium quinoa* (quinua). Incidencia sobre variables morfológicas y rendimiento de grano en la variedad CICA cultivada en Amaicha del Valle (Tucumán, Argentina). *Lilloa*, 53(1), 1-11.
- FAO. (2022c). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Biodiversidad de la Quinoa | Plataforma de información de la quinua | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/biodiversidad-de-la-quinua/es/>
- FAO. (2022a). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Producción sostenible | Plataforma de información de la quinua | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/produccion-sostenible/fr/>
- FAO. (2022b). Quinoa. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/quinoa/es/>
- Gasó, D. (2018). Respuesta del rendimiento de soja a la densidad de siembra en ambientes de productividad contrastante. *Agrociencia*, 22(2). <https://doi.org/10.31285/AGRO.22.2.4>
- García, G. O. (2020). Adaptación de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) a las condiciones agroecológicas de la zona centro peninsular [Tesis Ingeniería agrícola, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/65953/1/TFG_GABRIELA_ORGAZ_GARCIA.pdf
- García-Parra, M., Molano, J. F., Melo Ortiz, D., & Deaquiz Oyola, Y. (2017). RESPUESTA AGRONÓMICA DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) VARIEDAD DULCE DE SORACÁ A LA FERTILIZACIÓN EN VENTAQUEMADA - BOYACÁ. *CULTURA CIENTÍFICA*, 15(1), 66-77.
- Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf>

- González, J. (2019). Evaluación y calibración del modelo de simulación de cultivo Dssat Substor –Potato Bajo Condiciones Andinas [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional De Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22452/1/Jos%C3%A9%20Lucio%20Gonz%C3%A1lez%20Armijos.pdf>
- Hoang Thai Dinh. (2021). (PDF) Efectos de la densidad de plantas sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las semillas de genotipos de quinua en condiciones de temporal en regiones de suelos de basalto rojo. https://www.researchgate.net/publication/348444206_Effects_of_plant_density_on_growth_yield_and_seed_quality_of_quinoa_genotypes_under_rain-fed_conditions_on_red_basalt_soil_regions
- IICA. (2020). LOS DESAFÍOS DE LA QUINUA, EL GRAN ALIMENTO ANDINO, RESEÑADOS POR LA PRESTIGIOSA REVISTA GLOBAL FOOD SECURITY. Obtenido de Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura: <https://www.iica.int/es/prensa/noticias/los-desafios-de-la-quinua-el-gran-alimento-andino-resenados-por-la-prestigiosa>
- Jiménez-Esparza, L. O., González-Parra, M. M., Bastidas-Tibanquiza, M. L., & Decker-Campuzano, F. E. (2018). Evaluación del rendimiento de tres sistemas de siembra y dos variedades de amaranto (*Amaranthus quitensis*) y (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(2), 65-75. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2018.060200065>
- Jiménez, O., Silva, R., & Cruz, J. (2009). EFECTO DE DENSIDADES DE SIEMBRA SOBRE EL RENDIMIENTO DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN EL MUNICIPIO SANTA ROSALÍA ESTADO PORTUGUESA, VENEZUELA. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 27, 32-41.
- Jingang, L., Zhongyi, Q., Jin, C., Bo, Y., & Yongping, H. (2019). Effect of Planting Density on the Growth and Yield of Sunflower under Mulched Drip Irrigation. *Water*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/w11040752>
- Jbawi, E. A., Othman, M., Hunnish, T. A., & Abbas, F. (2022). The effect of plant density on growth and seed yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the middle region of Syria. *International Journal of Phytology Research*, 2(1), 19-24.
- Lázaro-Rojas, W., Vargas-Rojas, J. C., Vega-Villalobos, E. V., Alvarado-Hernández, A., Cabalceta-Aguilar, G., & Garbanzo-León, G. (2022a). Productividad de maíz

- (Diamantes 8843) bajo diferentes densidades de siembra y dosis de nitrógeno. *Agronomía Mesoamericana*, 50990. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.50990>
- Law-Ogbomo, K. E., & Ajayi, S. O. (2009). Growth and Yield Performance of *Amaranthus cruentus* Influenced by Planting Density and Poultry Manure Application. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), 195-199. <https://doi.org/10.15835/nbha3723458>
- León-Lobos, P., Zurita-Silva, A., Veas, E., Alfaro, C., Matus, I., Ruf, K., Pinto, M., Carrasco, J., Riquelme, J., Felmer, S., Pedreros, A., Molina, L., & Quiroz, C. (2015). El cultivo de la quinoa en Chile. *Boletín N°362*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Rayentué. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6727/Bolet%20C3%ADn%20INIA%20N%C2%B0%20362?sequence=1&isAllowed=y>
- León-Lobos, P., Zurita-Silva, A., & Veas, E. (2019). Antecedentes generales de la quinoa.
- Ludvigson, K., Reganold, J. P., & Murphy, K. M. (2019). Intensificación sostenible de la producción de quinua en ambientes periurbanos en el oeste del estado de Washington utilizando métodos de trasplante versus métodos de siembra directa. *Ciencia e investigación agraria*, 46(2), 100-112. <https://doi.org/10.7764/rcia.v45i2.2169>
- MAG. (2021). ESTADO DEL CULTIVO DE QUINUA EN EL ECUADOR. *Boletín situacional quinua 2021*, Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- MAG. (2020). Quinoa, el súper alimento que ofrece oportunidades alimenticias y de exportación – Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec/quinua-el-super-alimento-que-ofrece-oportunidades-alimenticias-y-de-exportacion/>
- MAG. (2023). Informe de rendimientos objetivos de quinua 2022. https://fliphtml5.com/ijia/vlxe/Informe_de_rendimientos_objetivos_de_quinua_2022
- Mapcarta. (2022). Barrio La Argelia. Mapcarta. <https://mapcarta.com/es/N676412520>
- Martínez, S., Vicente de Souza, & Miranda, J. (2012). Guía práctica para el cultivo de la quinua [“SEGURIDAD ALIMENTARIA NUTRICIONAL EN MUNICIPIOS DE TARIJA Y CHUQUISACA” – PROYECTO QUINUA]. Seguridad Alimentaria y Medio Ambiente. <https://www.louvaincooperation.org/sites/default/files/2018-10/52%20Guia%20practica%20Cultivo%20Quinua%20Tarija%20ESP.pdf>
- Meléndez, M., Gámez Vázquez, A. J., Ávila Perches, M. A., García Rodríguez, J. J., Espitia Rangel, E., Moran Vázquez, N., & Covarrubias Prieto, J. (2013). Rendimiento y calidad

- de semilla de avena en función de la fecha y densidad de siembra. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(7), 973-985.
- Meléndez, Á. (31 de diciembre de 2021). La quinua, un alimento poderoso. Obtenido de <https://revistamundodiners.com/quinua-alimento-poderoso/>
- Méndez Natera, J. R. (2002). Relación entre el peso seco total y los caracteres vegetativos y la nodulación de plantas de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Revista Científica UDO Agrícola*, 2(1), 46-53.
- Mena, J. L. L., Díaz Ramírez, A. L. P. D., & Aguilar, R. D. (2018). Efecto de la densidad de población en el desarrollo y distribución de la biomasa del girasol, variedad Caburé – 15. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(1), Article 1. <https://doi.org/10.19084/RCA17248>
- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Ojeda-Bustamante, W., Flores-Magdaleno, H., Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Ojeda-Bustamante, W., & Flores-Magdaleno, H. (2017). Estimación de índice de área foliar y rendimiento de chile poblano cultivado en invernadero. *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 9(1), 37-50. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2017.04.009>
- Mestanza Uquillas, C., Zambrano Calderón, K., Pinargote Alava, J., Veliz Zamora, D., Vásconez Montufar, G., Fernández, N., & Olmos, E. (2019). Evaluación agronómica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones agroclimáticas en la zona de Mocache. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WiMQrVGPywcJ:https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/download/316/310/416&cd=18&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Mestanza, Uquillas, C. M., Chavez, J. S., Zamora, D. V., & Montufar, G. V. (2022). Rendimiento de grano de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) sembrado a chorro continuo, en el campus “La María”. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 1(1), 53-601-8. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:vMTilao6UqQJ:https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/download/315/564/&cd=23&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- Mina, D. F. (2014). EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LÍNEAS F5 DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.), EN DOS LOCALIDADES DE LA SERRANÍA. ECUADOR. Universidad Central Del Ecuador; Facultad de Ciencias Agrícolas. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2560/1/T-UCE-0004-78.pdf>

- Montes Rojas, C., Burbano Catuche, G. A., & Muñoz Certuche, E. F. (2019). Evaluación del rendimiento de quinua bajo diferentes densidades, fertilización y métodos de siembra en Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(1), 46-55. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v18n1.1410>
- Morillo, A. C. C., Manjarres, E. H. H., & Morillo, Y. C. (2021). Phenotypic diversity of agromorphological characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm in Colombia. *Scientia Agricola*, 79, e20210017. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0017>
- Murillo, A., Vega, L., Peralta, E., Mazón, L., & Lomas, L. (2023). Manual del cultivo de quinua. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/6054/1/Manual%20de%20quinua.pdf>
- Nagib, S., Gahory, A., & Hassan, A. (2020). PRODUCTIVITY AND QUALITY OF QUINOA YIELD (*Chenopodium quinoa*, WILLD) AS AFFECTED BY PLANTING DATE AND PLANT SPACINGS. *Scientific Journal of Flowers and Ornamental Plants*, 7(4), 541-548. <https://doi.org/10.21608/sjfop.2020.139786>
- Núñez, N. N., Robles MagnoTello, & Alvarez, M. Q. (2018). INFLUENCIA DEL DISTANCIAMIENTO Y NÚMERO DE PLANTAS POR GOLPE EN EL RENDIMIENTO DE GRANO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd). *Ciencia & Desarrollo*, 22, Article 22. <https://doi.org/10.33326/26176033.2018.22.746>
- Oliveira, A. F. de, Silva, M. N. C., Innecco, R., Bezerra, F. T. C., & Abreu, W. E. de. (2018). Efeito do arranjo de plantio da quinua em baixa altitude. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(2), 81-90. <https://doi.org/10.19084/RCA17189>
- Oris, G. A. (2022). Informe de Comercio Exterior: Quínoa. Universidad Católica de Salta. <https://prosalta.org.ar/p-content/uploads/2022/0/investigacion-de-mercado-quinua-final-correguido.pdf>
- Orús, A. (12 de diciembre de 2022). Ranking de los 10 principales países exportadores de quinua en el mundo en 2021. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1128030/principales-paises-exportadores-de-quinua-en-el-mundo/>
- Pinto, M. B. (2013). El cultivo de la quinua y el clima en el Ecuador.pdf. Meteorológicas INAMHI - Ecuador. <https://www.inamhi.gog.ec/meteorologia/articulos/agrometeorologia/El%20%20cultivo%20de%20quinua%20y%20el%20clima%20en%20el%20Ecuador.pdf>
- Pineda, G. del C. (2022). “Efecto de la fertilización nitrogenada y la modificación de la radiación solar, sobre el crecimiento y rendimiento de la Quinua en la Argelia, Loja”.

- [Tesis Ingeniera Agrónoma , Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/25970/1/Gabriela%20del%20Cisne%20Pineda%20Suquilanda.pdf>
- Pourfarid, A., Kamkar, B., & Akbari, G. A. (2014). The effect of density on yield and some agronomical and physiological traits of Amaranth.
- Rana, M. M., Mamun, M. A. A., Zahan, A., Ahmed, M. N., & Mridha, M. A. J. (2014). Effect of Planting Methods on the Yield and Yield Attributes of Short Duration Aman Rice. *American Journal of Plant Sciences*, 2014. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.53033>
- Rabbani, S. B., Karimi, G., Khoramivafa, M., Saeidi, M., Boroomandan, P., Bagheri, M., & Zarei, L. (2022). Effect of sowing date and plant density on seed yield and yield attributes of quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes.
- Roqueiro, G., Guillen, L., Bárcena, N., Tornello, S., & Notario, L. (2020). Promoción del cultivo de quinua en los Valles Andinos y Centrales de San Juan como alternativa productiva y contribución a la seguridad alimentaria.
- Rodas, V. E. R., & Flores, A. B. (2018). Evaluación del comportamiento del trasplante de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de bandejas a campo en sus diferentes fases fenológicas en Kiphakiphani, Viacha: Victor Enmanuel Rodas Arano, Alejandro Bonifacio Flores. *Apthapi*, 4(3), 1312-1317.
- Sáez-Tonacca, L., Aravena-Narbona, A., & Díaz Ramírez, C. (2018). Uso de harina de hojas de quínoa (*Chenopodium quinoa*) como ingrediente innovador, para la elaboración de alimentos de uso humano. *Idesia (Arica)*, ahead, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005000602>
- Sánchez-Monje, M., Olave, J., Sánchez-Monje, M., & Olave, J. (2019). Revisión: ¿Puede el cambio climático afectar la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Altiplano chileno? *Idesia (Arica)*, 37(1), 19-23. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000202>
- P. Sánchez, A., Rattin, & Benedetto. (2014). Yield increase as influenced by transplanting of sweet maize (*Zea mays* L. saccharata). *American Journal of Experimental Agriculture*, 4, 1314-1329.
- Sánchez-Del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. D. C., Contreras-Magaña, E., & Vicente-González, E. (2006). REDUCCIÓN DEL CICLO DE CRECIMIENTO EN PEPINO EUROPEO, MEDIANTE TRASPLANTE TARDÍO. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29 (Especial_2), 87. https://doi.org/10.35196/rfm.2006.Especial_2.87

- Satorre, E. H., Benech, R., Slafer, G. A., De la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E., & Savin, R. (2003). Producción de granos: bases funcionales para su manejo.[Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina].
- Sayed, E., Leithy, E., Bazraa, W. M., & Abdel-Latef, M. S. (2018). Effect of growing media, bio and organic fertilization on the flowering and chemical constituents of *Calendula officinalis* L. *Plants*. 1-12.
- Segales, E., & Rodriguez, J. P. (2013). Estimación del área foliar en campo mediante métodos no destructivos en el cultivo de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27963.72488>
- SENASA. (2015). REQUISITOS Y RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS (BPA) PARA LA PRODUCCIÓN EN EL CULTIVO DE QUINUA. Guía de Buenas Prácticas Agrícolas para el Cultivo de Quinoa. <https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2014/12/GUIA-BPA-QUINUA.pdf>
- Senamhi. (2017). Quinoa. Ficha técnica agroclimática (*Chenopodium quinoa* Willd.). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2253265/QUINUA.pdf>
- SESAN. (2013). INVESTIGACIÓN SOBRE EL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*). Gobierno de Guatemala, Secretaría de Seguridad Alimentaria, Guatemala.
- Spehar, C. R., & Rocha, J. E. da S. (2009). Effect of sowing density on plant growth and development of quinoa, genotype 4.5, in the brazilian savannah highlands / Efeito da densidade de semeadura no crescimento e desenvolvimento de quinoa, genótipo 4.5, no planalto central. *Bioscience Journal*, 25(4), Article 4. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6952>
- Spehar, C. R., & Santos, R. L. de B. (2005). Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 609-612. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000600012>
- Sief, A., El-Deepah, H., Kamel, A., & Ibrahim, J. (2015). EFFECT OF VARIOUS INTER AND INTRA SPACES ON THE YIELD AND QUALITY OF QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Plant Production*, 6(3), 371-383. <https://doi.org/10.21608/jpp.2015.49331>
- Silva, B. E. A. (2021). Agronegocios y empleo [Trabajo de grado previo, Licenciada Multilingüe En Negocios Y Relaciones Internacionales, Universidad a. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/19013/AN%C3%81LISIS%20D>

EL%20POTENCIAL%20DE%20EXPORTACI%20C3%93N%20DE%20LA%20QUINUA%20ORG%20C3%81NICA%20ECUATORIANA%20AL%20MERCADO%20INTERNACIONAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20d

- S.L, T. N. (2022). Clima en LOJA/LA ARGELIA durante Noviembre de 2022—Datos climáticos históricos. www.tut tiempo.net. <https://www.tut tiempo.net/clima/11-2022/ws-842700.html>.
- Sosa, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfert, U. (2017). Escala estandarizada de fenología para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) basada en el sistema de codificación de la BBCH.
- Sucasaca, R. L. (2023). CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y MORFOLÓGICA DE LAS ACCESIONES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) OBTENIDAS ANCESTRALMENTE VÍA DESCRIPTOR BIOVERSITY INTERNATIONAL. *Revista de Investigaciones*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.26788/ri.v12i1.4398>
- Tapia, M. (2012). La quinua historia,distribución geográfica, actual producción y usos. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM%2FAmbienta_2012_99_104_119.pdf
- Teomiro, E. (2017). Energía, recursos y sostenibilidad | Artículos |Latinoamérica. Bolivia, . Obtenido de <https://www.unav.edu/web/global-affairs/detalle/-/blogs/el-boom-de-la-quinua>
- Troiani, R. R., R; Nollemeyer, E. (2010). Respuesta del amaranto a dos distancias de siembra ya densidades de población. *Agronomía Tropical*, 60, 287-293.
- Torres-Saldaña, G., Trinidad-Santos, A., Reyna-Trujillo, T., Castillo-Juárez, H., Escalante-Estrada, A., & De León-González, F. (2006). RESPUESTA DE GENOTIPOS DE AMARANTO A DENSIDADES DE POBLACIÓN. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(4), 307. <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.4.307-312>
- Veas, E., & Cortés, H. (2018). MANUAL DEL CULTIVO DE LA QUINOA Cultivo ancestral como una alternativa eficiente para la adaptación de la agricultura al cambio climático. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Primera Edición. http://www.ceaza.cl/wp-content/uploads/2019/04/Libro-de-la-quinua_FINAL.pdf
- Weiss, M. (2020). CAN-EYE. <https://www6.paca.inrae.fr/can-eye/Download>
- Zulkadir, G. (2021). THE EFFECTS OF VARIOUS ROW SPACING AND SOWING PERIODS ON THE PLANT PROPERTIES OF QUINOA (*Chenopodium quinoa*

Willd.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(3), 1857-1867.
https://doi.org/10.15666/aeer/1903_18571867

Zubillaga, Orioli, Barrio, & Quichán. (2015). EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA EN LA PRODUCTIVIDAD DE AMARANTO EN EL VALLE INFERIOR DEL RÍO NEGRO.

<https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/6089/1/Extendido%20congreso%20quina%2030%20de%20abril%20%282%29.pdf>

Zubillaga, M. F., Camina, R., Orioli, G. A., Failla, M., & Barrio, D. A. (2020). Amaranth in southernmost latitudes: Plant density under irrigation in Patagonia, Argentina. *Revista Ceres*, 67, 93-99. <https://doi.org/10.1590/0034-737X202067020001>

11. Anexos

Anexo 1. Resumen de las dosis de fertilizantes aplicados en el área de estudio

Fertilizantes	Dosis fertilizante (kg/ha)	1 Apl (20 %)	2 Apl. (30 %)	3 Apl. (50 %)	Dosis parcela (kg/parcela)	Dosis (g/parcela)	1 Apl. (20 %)	2 Apl. (30 %)	3 Apl. (50 %)
Urea	160	32	48	80	0.021	21	6	15	11
Superfosfato triple	174	35	52	87	0.023	23	7	16	11
Muriato de potasio	336	67	101	168	0.044	44	13	31	22

Anexo 2. Descripción de las fases fenológicas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de acuerdo a la escala extendida de la BBCH descrita por Sosa et al. (2017).

Código BBCH	Descripción
2-dígitos	Descripción
Fase fenológica principal 0: germinación	
00	Semilla seca
01	Iniciación imbibición de la semilla
03	Iniciación imbibición de la semilla completa
05	Emergencia de la radícula desde la semilla
07	Emergencia del hipocótilo
09	Emergencia de los cotiledones sobre el suelo
Fase fenológica principal 1: desarrollo hojas	
10	Cotiledones completamente expandidos
11	Primer par de hojas verdaderas visibles
12	Segundo par de hojas verdaderas visibles
1.	El Sistema de codificación continua igual hasta la subetapa 19
19	Nueve o más pares de hojas verdaderas visibles
Fase fenológica principal 2: formación tallos laterales	
20	Yemas laterales visibles u hojas laterales expandidas sin tallos laterales
21	Un tallo lateral visible
22	Dos tallos laterales visibles
2.	El Sistema de codificación continua igual hasta la subetapa 29
29	Nueve o más ramas laterales visibles
Fase fenológica principal 3: elongación del tallo (omitida)	
Fase fenológica principal 4: desarrollo de órganos vegetativos de consumo (omitida)	
Fase fenológica principal 5: emergencia de la inflorescencia	

50	Inflorescencia presente pero aún cubierta por hojas
51	Hojas que rodean la inflorescencia separadas, la inflorescencia visible desde arriba
59	Inflorescencia visible, pero flores aún cerradas
Fase fenológica principal 6: floración	
60	Comienzo floración: Inicio de la aparición anteras
67	Temprano fin de antesis: principal inflorescencia flores con primero senescente antera
69	Completa antesis: principal inflorescencia flores con senescente antera
Fase fenológica principal 7: desarrollo fruto	
70	Asentamiento del fruto: Ovario abultado y primeros granos visibles
Fase fenológica principal 8: maduración	
81	Grano lechoso, fácil de romper con las uñas, contenido líquido y pericarpio verde.
85	Grano pastoso, fácil de romper con las uñas, contenido pastoso y blanco, pericarpio verde, beige, rojo o negro.
89	Grano Maduro, difícil de romper con las uñas, su contenido es seco, el pericarpio es verde, beige, rojo o negro. Listo para cosechar.
Fase fenológica principal 9: Senescencia	
91	Sólo hojas basales senescentes
93	Hojas de la primera mitad de la planta, partiendo desde la base, senescentes
95	Todas las hojas están muertas, el tallo cambia su color desde Amarillo a marrón
97	Planta muerta y seca
99	Producto cosechado

Fuente: (Sosa et al., 2017).

Anexo 3. Efecto del factor método de siembra sobre el crecimiento de la altura de la planta del cultivo de quinua

Método de siembra		Altura							
		Días después de la siembra (DDS)							
		Día 32	Día 46	Día 60	Día 74	Día 88	Día 102	Día 116	Día 130
A chorro continuo		17,55 A	44,16 A	93,29 A	141,33 A	202,44 A	241,67 A	264,06 A	265,33 A
Trasplante		4,78 B	9,80 B	34,98 B	76,83 B	127,89 B	195,00 B	230,28 B	245,56 B
EE		0,94	1,15	4,72	3,73	6,09	5,82	5,53	7,02
P-valor	Método de siembra (A)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0010	0,0312
	Densidad de siembra (B)	0,9457	0,9346	0,6164	0,5724	0,6624	0,2796	0,1359	0,0665
	Factor A*B	0,8311	0,4914	0,5815	0,3988	0,5344	0,6235	0,9392	0,8235

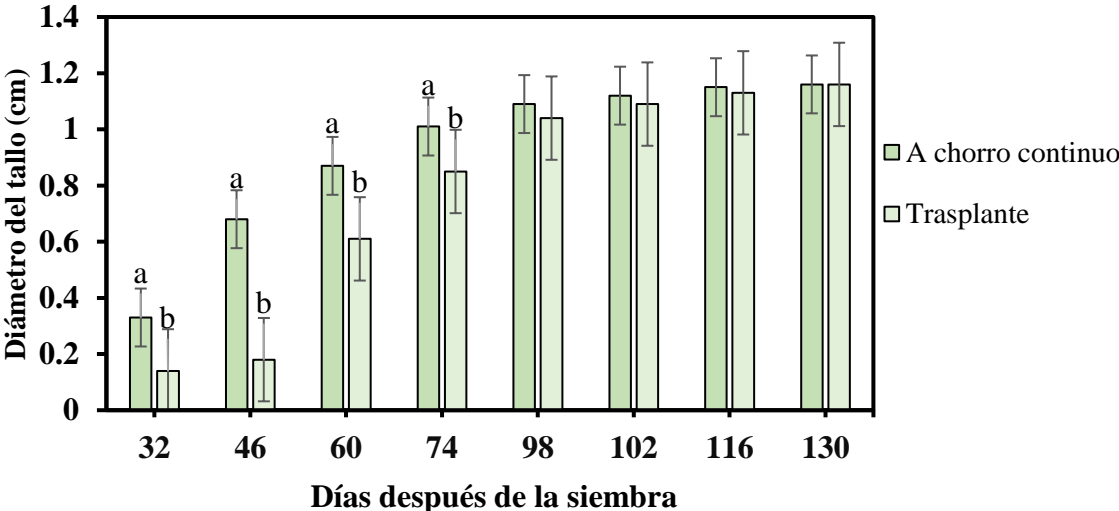
P valor < 0,05 indica diferencias significativas para el factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A)* Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05).

Anexo 4. Crecimiento del diámetro del tallo del cultivo de quinua, bajo la aplicación de los diferentes tratamientos sobre los métodos y densidades de siembra.

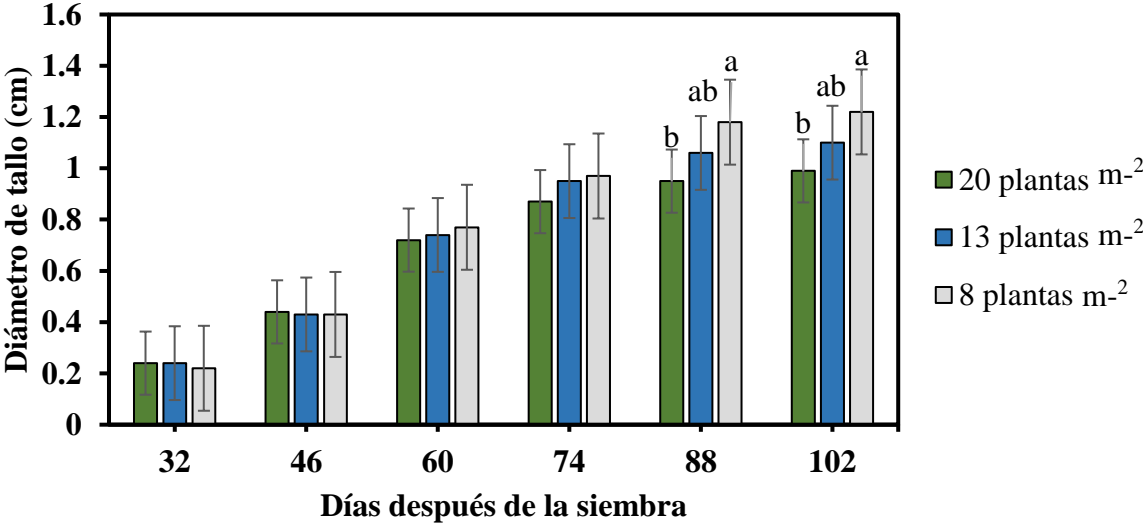
Método de siembra (A)	Densidad de siembra (B) (plantas m ⁻²)	Diámetro																															
		Días después de la siembra																															
		Día 32	Día 46	Día 60	Día 74	Día 88	Día 102	Día 116	Día 130	Día 32	Día 46	Día 60	Día 74	Día 88	Día 102	Día 116	Día 130																
A chorro continuo	20	0,35	A	0,70	A	0,86	A	0,98	A	1,03	AB	1,07	AB	1,08	BC	1,10	BC	0,35	A	0,68	A	0,86	A	0,97	A	1,07	AB	1,11	AB	1,14	ABC	1,14	ABC
	13	0,29	A	0,66	A	0,90	A	1,09	A	1,15	A	1,18	A	1,23	AB	1,24	AB	0,29	A	0,66	A	0,90	A	1,09	A	1,15	A	1,18	A	1,23	AB	1,24	AB
	8	0,13	B	0,18	B	0,58	B	0,77	A	0,87	B	0,92	B	0,92	C	0,94	C	0,13	B	0,18	B	0,58	B	0,77	A	0,87	B	0,92	B	0,92	C	0,94	C
Trasplante	20	0,14	B	0,18	B	0,62	B	0,93	A	1,05	AB	1,09	AB	1,15	AB	1,19	AB	0,14	B	0,18	B	0,62	B	0,93	A	1,05	AB	1,09	AB	1,15	AB	1,19	AB
	13	0,15	B	0,19	B	0,64	B	0,85	A	1,20	A	1,26	A	1,32	A	1,37	A	0,15	B	0,19	B	0,64	B	0,85	A	1,20	A	1,26	A	1,32	A	1,37	A
	8	Error estándar (EE)		0,03	0,03	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05			
P-valor	Método de siembra (A)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0196	0,2756	0,4412	0,6407	0,8966	0,0001	0,0001	0,0001	0,0196	0,2756	0,4412	0,6407	0,8966																
	Densidad de siembra (B)	0,5840	0,8823	0,5224	0,4208	0,0021	0,0011	0,0003	0,0005	0,5840	0,8823	0,5224	0,4208	0,0021	0,0011	0,0003	0,0005																
	Factor A*B	0,3254	0,8056	0,9088	0,4179	0,1142	0,0808	0,0452	0,0416	0,3254	0,8056	0,9088	0,4179	0,1142	0,0808	0,0452	0,0416																

P valor < 0,05 indica diferencias significativas para el factor método de siembra (A), densidad de siembra (B) y los tratamientos: Método de siembra (A)* Densidad de siembra (B). Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05).

Anexo 6. Efecto del factor método de siembra en el diámetro del tallo del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).



Anexo 5. Efecto del factor densidad de siembra en el diámetro del tallo del cultivo de quinua. Barras con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$).



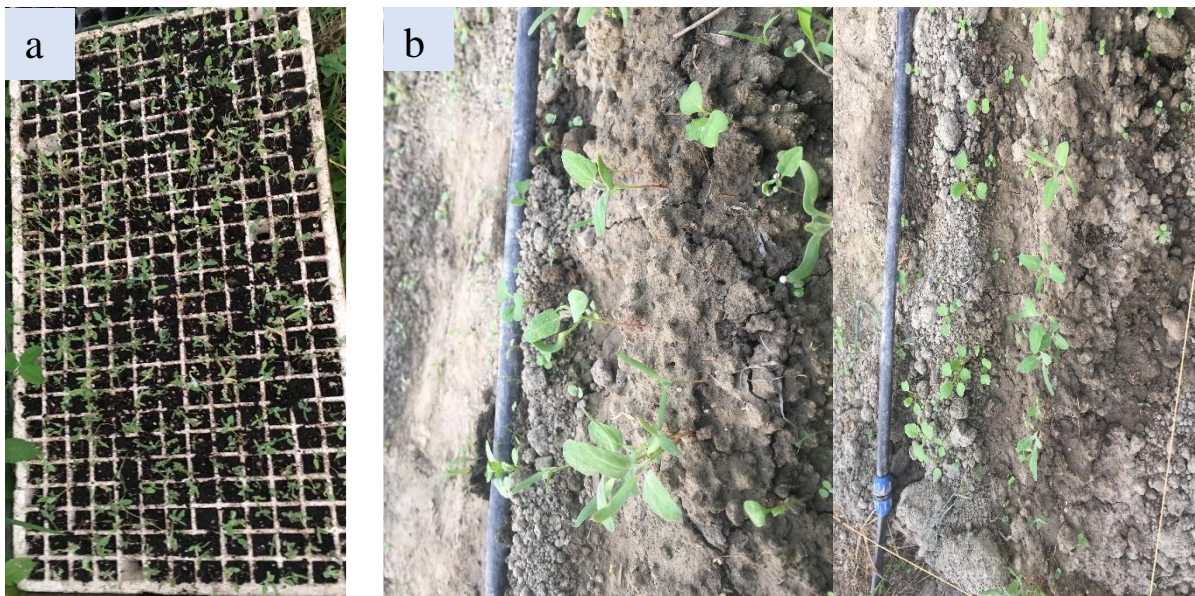
Anexo 7. Siembra del cultivo de quinua, del método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b)



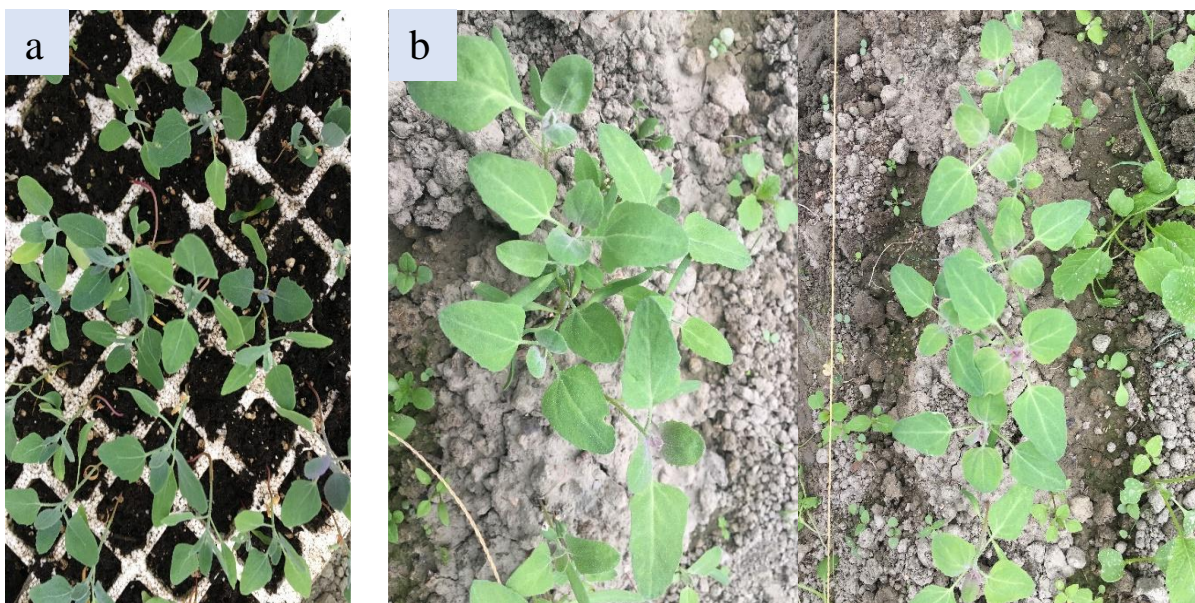
Anexo 8. Emergencia de la quinua método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b)



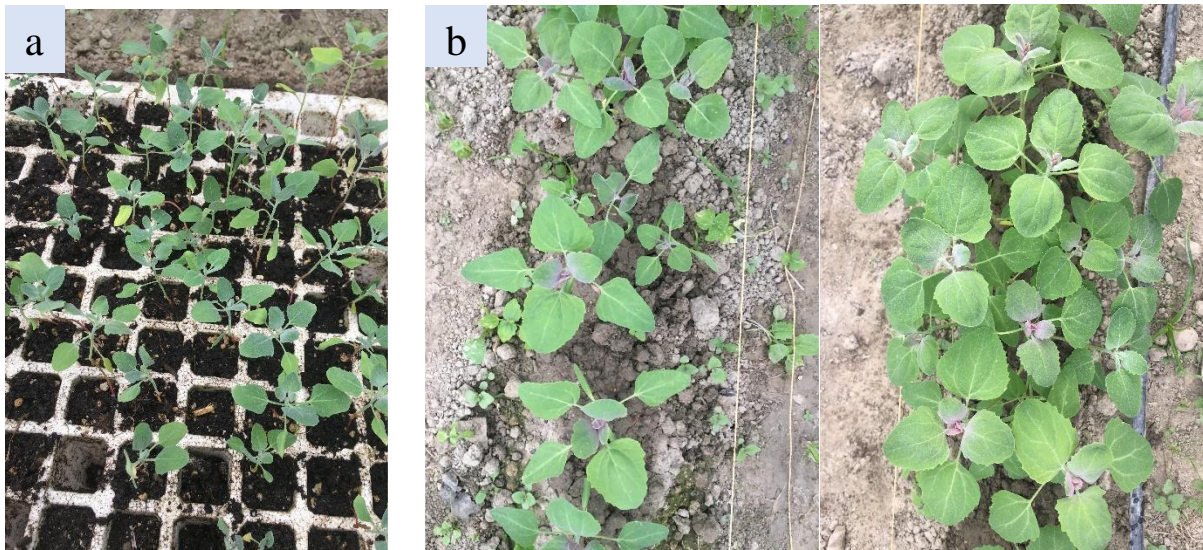
Anexo 9. Dos hojas verdaderas método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b)



Anexo 10. Cuatro hojas verdaderas método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b)



Anexo 11. Seis hojas verdaderas, método de siembra trasplante (a) y a chorro continuo (b)



Anexo 12. Ramificación, método de siembra trasplante y a chorro continuo.



Anexo 13. Inicio de panojamiento, método de siembra trasplante y a chorro continuo



Anexo 14. Panojamiento, método de siembra trasplante y a chorro continuo



Anexo 15. Inicio de la floración, método de siembra trasplante y a chorro continuo



Anexo 16. Floración, método de siembra trasplante y a chorro continuo



Anexo 17. Formación del grano, método de siembra trasplante y a chorro continuo



Anexo 18. Grano lechoso, método de siembra trasplante y a chorro continuo



Anexo 19. Grano pastoso, método de siembra trasplante y a chorro continuo



Anexo 20. Senescencia del cultivo de quinua, método de siembra trasplante y a chorro continuo



Anexo 21. Limpieza de las arvenses y aporque



Anexo 22. Fertilización al cultivo de quinua en cada uno de los tratamientos



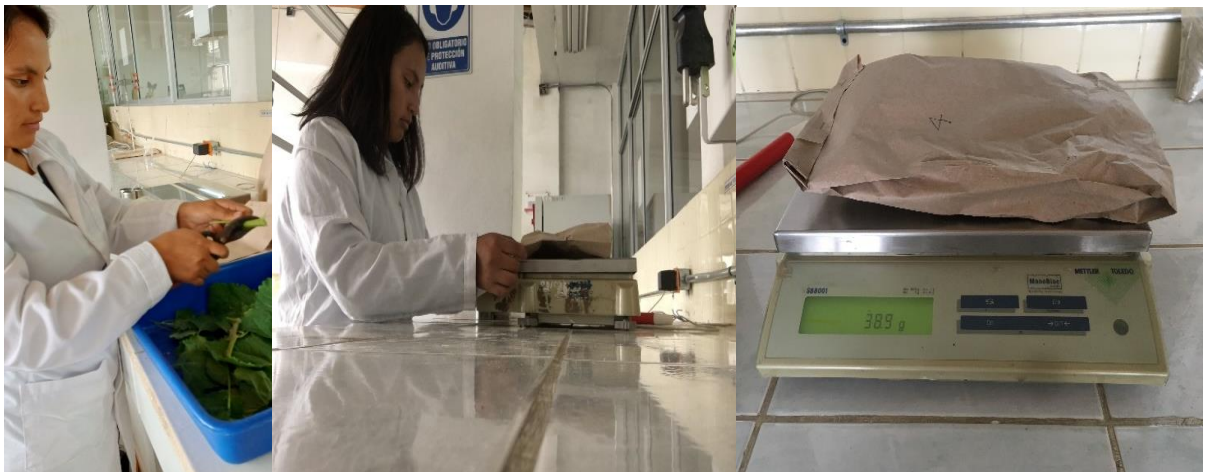
Anexo 23. Medición del diámetro del tallo.



Anexo 24. Medición del índice de área foliar a cada uno de los tratamientos con la cámara GoPro Hero9.



Anexo 25. Picado y pesaje de la biomasa aérea en el laboratorio



Anexo 26. Evaluación de la fenología de la quinua.



Anexo 27. Cosecha de la quinua



Anexo 28. Medición de la longitud de la panoja



Anexo 29. Colocación de las muestras en fundas de papel



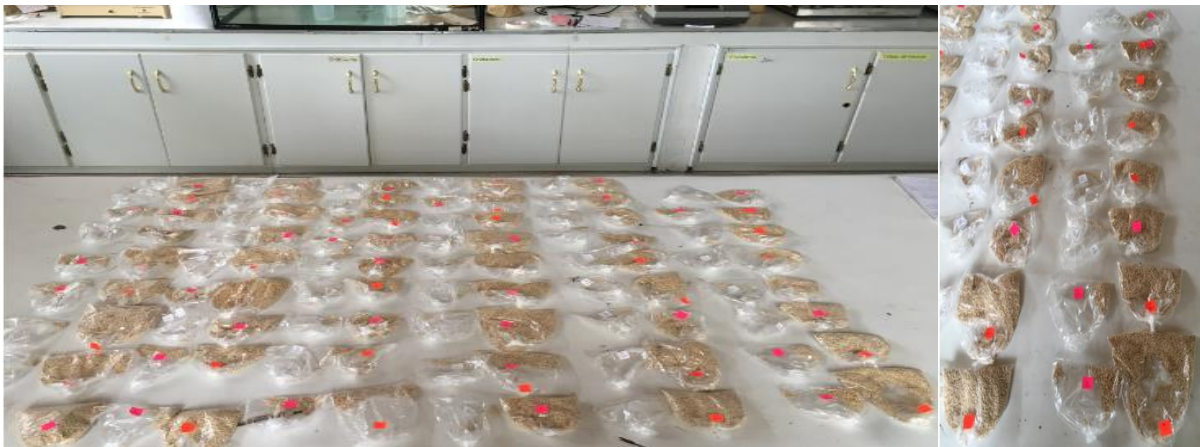
Anexo 30. Secados de las muestras de quinua en estufa



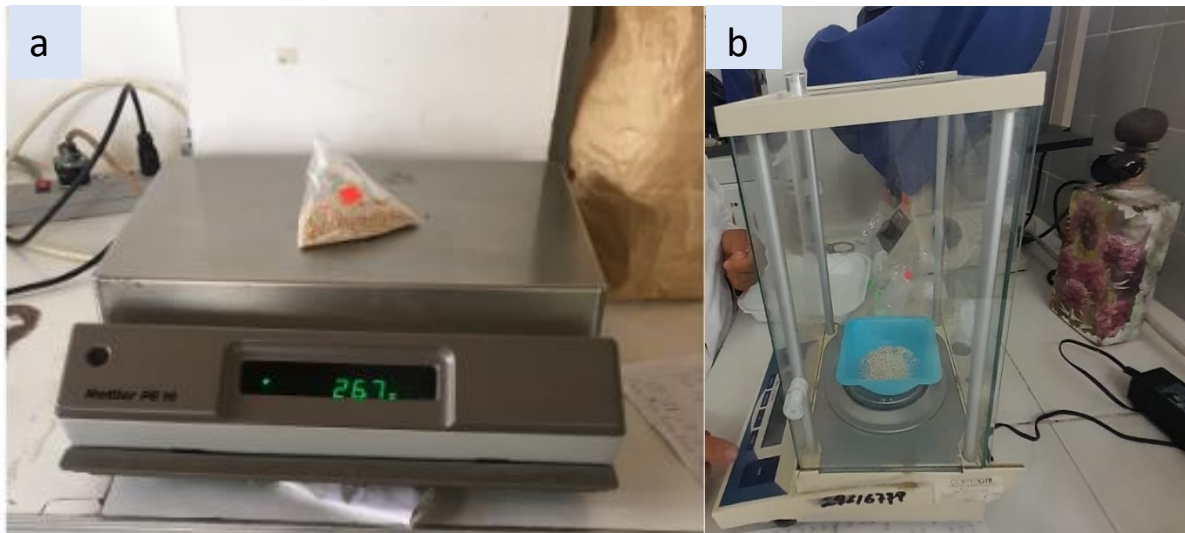
Anexo 31. Eliminación de las impurezas del grano de quinua



Anexo 32. Muestras de quinua por planta de cada uno de los tratamientos



Anexo 33. Pesaje del grano por planta en una balanza digital (a) y peso de 1000 granos en una balanza analítica (b).



Anexo 34. Certificado de traducción del resumen

Lic. Andrea Sthefanía Carrión Mgs

0984079037

andrea.s.carrion@unl.edu.ec

Loja-Ecuador

Loja, 26 de febrero del 2024

La suscrita, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs, **DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR** (registro de la SENESCYT número: 1008-12-1124463), **ÁREA DE INGLÉS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**, a petición de la parte interesada y en forma legal.

CERTIFICA:

Que la traducción del resumen del documento adjunto, solicitado por la señorita: **Silvana Estefani Castro Calderón** con cédula de ciudadanía **No. 1004739395**, cuyo tema de investigación se titula: **“Efecto de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con diferentes densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones controladas, en el sector la Argelia del cantón Loja”** ha sido realizado y aprobado por mi persona, Andrea Sthefanía Carrión Fernández, Mgs. en Pedagogía.

El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

**ANDREA STHEFANIA
CARRION
FERNANDEZ**

Firmado digitalmente por

ANDREA STHEFANIA
CARRION FERNANDEZ

Fecha: 2024.02.26
19:25:03 -06'00'

Andrea Sthefanía Carrión Fernández. Mgs.

English Professor